

PCT

WELTORGANISATION FÜR GEISTIGES EIGENTUM
Internationales Büro



INTERNATIONALE ANMELDUNG VERÖFFENTLICHT NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE
INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES PATENTWESENS (PCT)

<p>(51) Internationale Patentklassifikation ⁶ : G01B 11/10, 11/02, G01S 7/481</p>	<p>A1</p>	<p>(11) Internationale Veröffentlichungsnummer: WO 99/41568 (43) Internationales Veröffentlichungsdatum: 19. August 1999 (19.08.99)</p>
<p>(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP99/00903 (22) Internationales Anmeldedatum: 11. Februar 1999 (11.02.99) (30) Prioritätsdaten: 198 06 288.5 16. Februar 1998 (16.02.98) DE (71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten ausser US): FRAUNHOFER-GESELLSCHAFT ZUR FÖRDERUNG DER ANGEWANDTEN FORSCHUNG E.V. [DE/DE]; Leonrodstrasse 54, D-80636 München (DE). (72) Erfinder; und (75) Erfinder/Anmelder (nur für US): HARTRUMPF, Matthias [DE/DE]; Hertzstrasse 164b, D-76187 Karlsruhe (DE).</p>		<p>(81) Bestimmungsstaaten: JP, KR, US, europäisches Patent (AT, BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE). Veröffentlicht Mit internationalem Recherchenbericht. Vor Ablauf der für Änderungen der Ansprüche zugelassenen Frist; Veröffentlichung wird wiederholt falls Änderungen eintreffen.</p>

(54) Title: LASER SCANNER MEASUREMENT SYSTEM

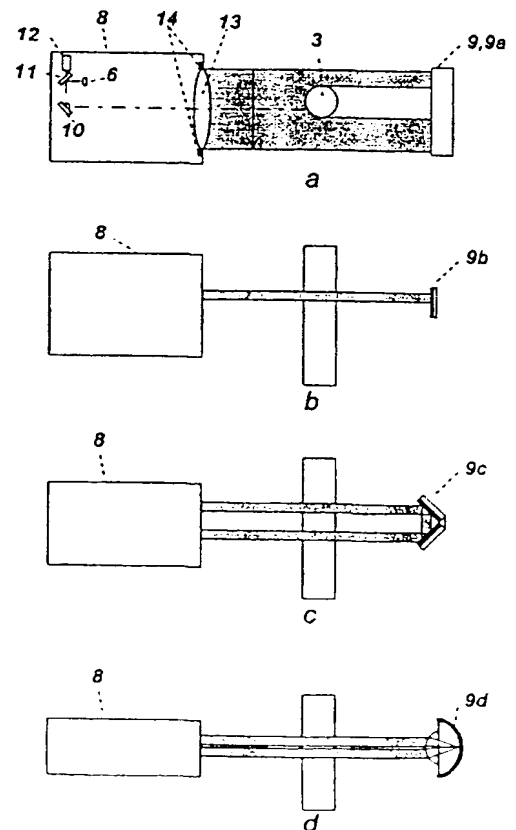
(54) Bezeichnung: LASERSCANNER-MESSSYSTEM

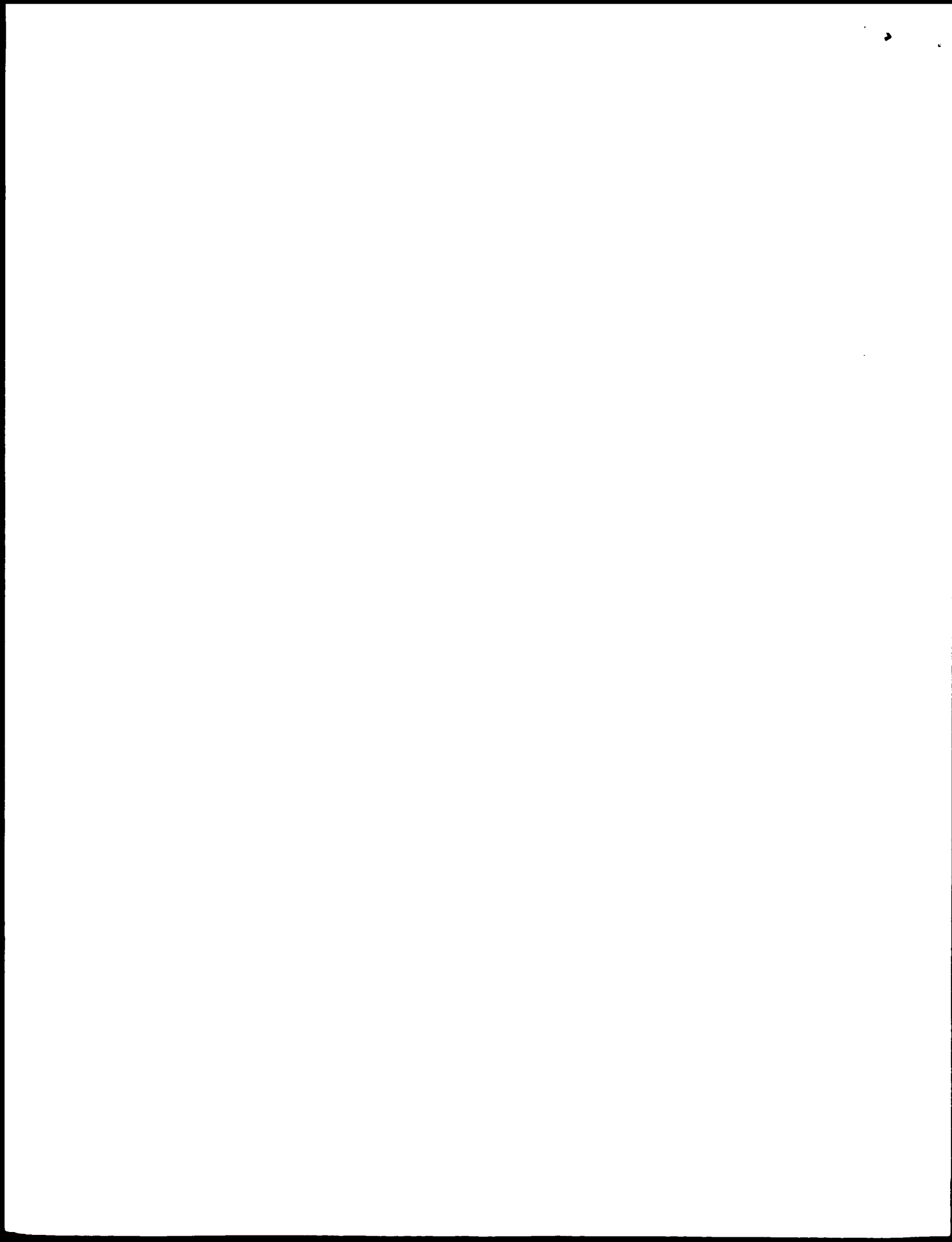
(57) Abstract

The invention relates to a laser scanner measurement system, comprising a transmission unit consisting of a laser, beam deflection unit and transmitting optical system, and a receiving part with a photodetector which is arranged in the focal plane of the optical system destined for the receiving beam path. The invention is characterized in that the scanner unit and receiving unit are arranged on the same side in relation to the object and the surface normal of the receiving optical system is parallel to the direction of radiation of the scanner unit, i.e. that the scanner and receiver beam path in the outer area at all times have the same optical axis or that the axes are displaced parallel to each other and perpendicular to the direction of movement of the laser beam.

(57) Zusammenfassung

Die Erfindung betrifft ein Laserscanner-Meßsystem, bestehend aus einer Sendereinheit mit Laser, Strahlableiteneinheit, und einer Senderoptik sowie einem Empfängerteil mit einem Fotodetektor, der in der Brennebene der Optik angeordnet ist, die für den Empfangsstrahlengang ist. Die Erfindung zeichnet sich dadurch aus, daß Scannereinheit und Empfängereinheit auf der gleichen Seite relativ zum Objekt angeordnet sind und die Flächennormale der Empfängeroptik zu der Abstrahlrichtung der Scannereinheit parallel ist, das heißt, daß Scanner- und Empfängerstrahlengang im Außenraum zu jedem Zeitpunkt die gleiche optische Achse aufweisen, oder die Achsen zueinander und senkrecht zur Bewegungsrichtung des Laserstrahls parallel verschoben sind.

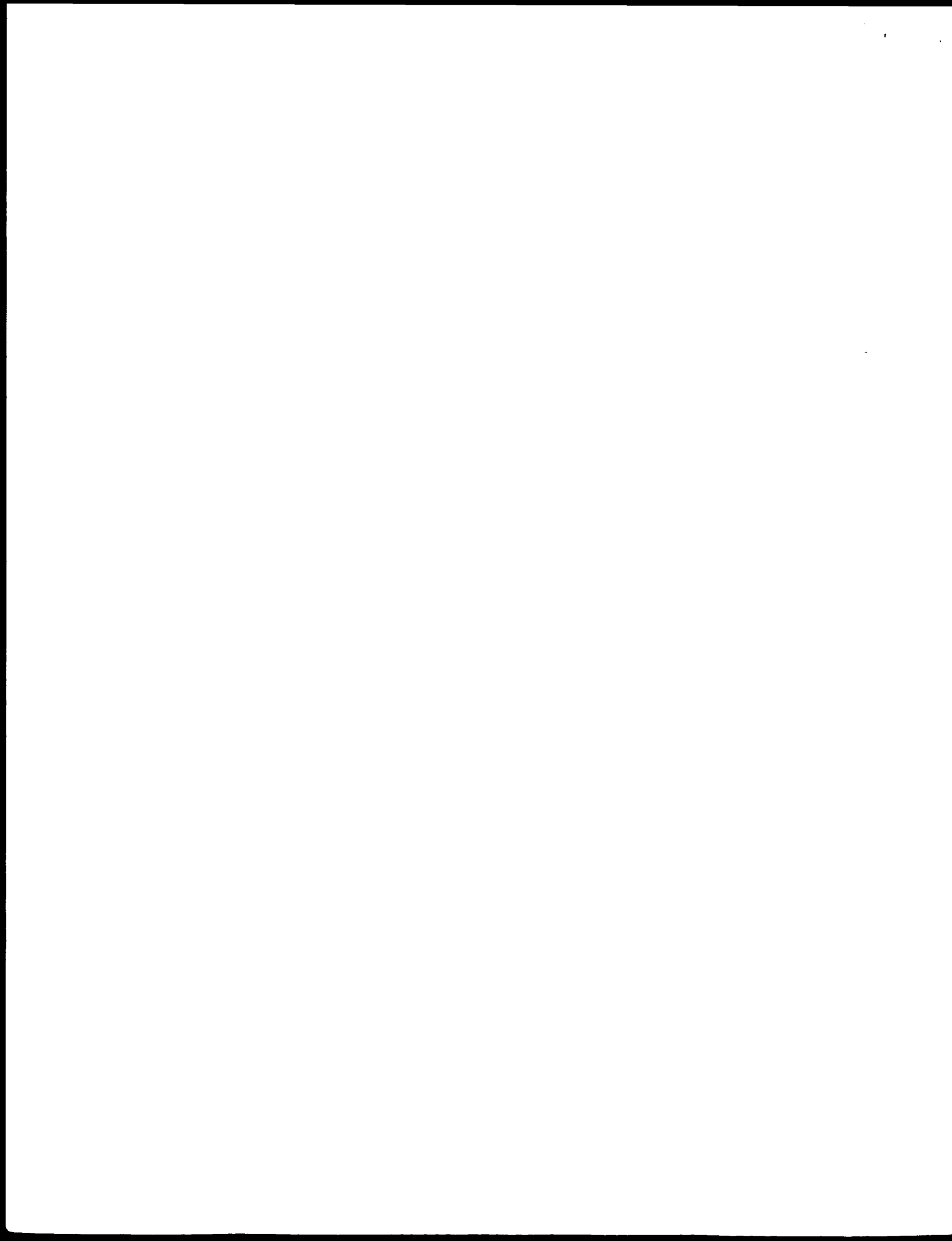




LEDIGLICH ZUR INFORMATION

Codes zur Identifizierung von PCT-Vertragsstaaten auf den Kopfbögen der Schriften, die internationale Anmeldungen gemäss dem PCT veröffentlichen.

AL	Albanien	ES	Spanien	LS	Lesotho	SI	Slowenien
AM	Armenien	FI	Finnland	LT	Litauen	SK	Slowakei
AT	Österreich	FR	Frankreich	LU	Luxemburg	SN	Senegal
AU	Australien	GA	Gabun	LV	Lettland	SZ	Swasiland
AZ	Aserbaidshan	GB	Vereinigtes Königreich	MC	Monaco	TD	Tschad
BA	Bosnien-Herzegowina	GE	Georgien	MD	Republik Moldau	TG	Togo
BB	Barbados	GH	Ghana	MG	Madagaskar	TJ	Tadschikistan
BE	Belgien	GN	Guinea	MK	Die ehemalige jugoslawische Republik Mazedonien	TM	Turkmenistan
BF	Burkina Faso	GR	Griechenland	ML	Mali	TR	Türkei
BG	Bulgarien	HU	Ungarn	MN	Mongolei	TT	Trinidad und Tobago
BJ	Benin	IE	Irland	MR	Mauretanien	UA	Ukraine
BR	Brasilien	IL	Israel	MW	Malawi	UG	Uganda
BY	Belarus	IS	Island	MX	Mexiko	US	Vereinigte Staaten von Amerika
CA	Kanada	IT	Italien	NE	Niger	UZ	Usbekistan
CF	Zentralafrikanische Republik	JP	Japan	NL	Niederlande	VN	Vietnam
CG	Kongo	KE	Kenia	NO	Norwegen	YU	Jugoslawien
CH	Schweiz	KG	Kirgisistan	NZ	Neuseeland	ZW	Zimbabwe
CI	Côte d'Ivoire	KP	Demokratische Volksrepublik Korea	PL	Polen		
CM	Kamerun	KR	Republik Korea	PT	Portugal		
CN	China	KZ	Kasachstan	RO	Rumänien		
CU	Kuba	LC	St. Lucia	RU	Russische Föderation		
CZ	Tschechische Republik	LI	Liechtenstein	SD	Sudan		
DE	Deutschland	LK	Sri Lanka	SE	Schweden		
DK	Dänemark	LR	Liberia	SG	Singapur		
EE	Estland						



534 Rec'd PCT/PTO 15 AUG 2000

Laserscanner-Meßsystem

Beschreibung

Die Erfindung betrifft ein konfigurierbares Laserscanner-meßsystem zur Vermessung einseitig zugänglicher und/oder komplex geformter oder strukturierter Objekte gemäß dem Oberbegriff des Anspruch 1.

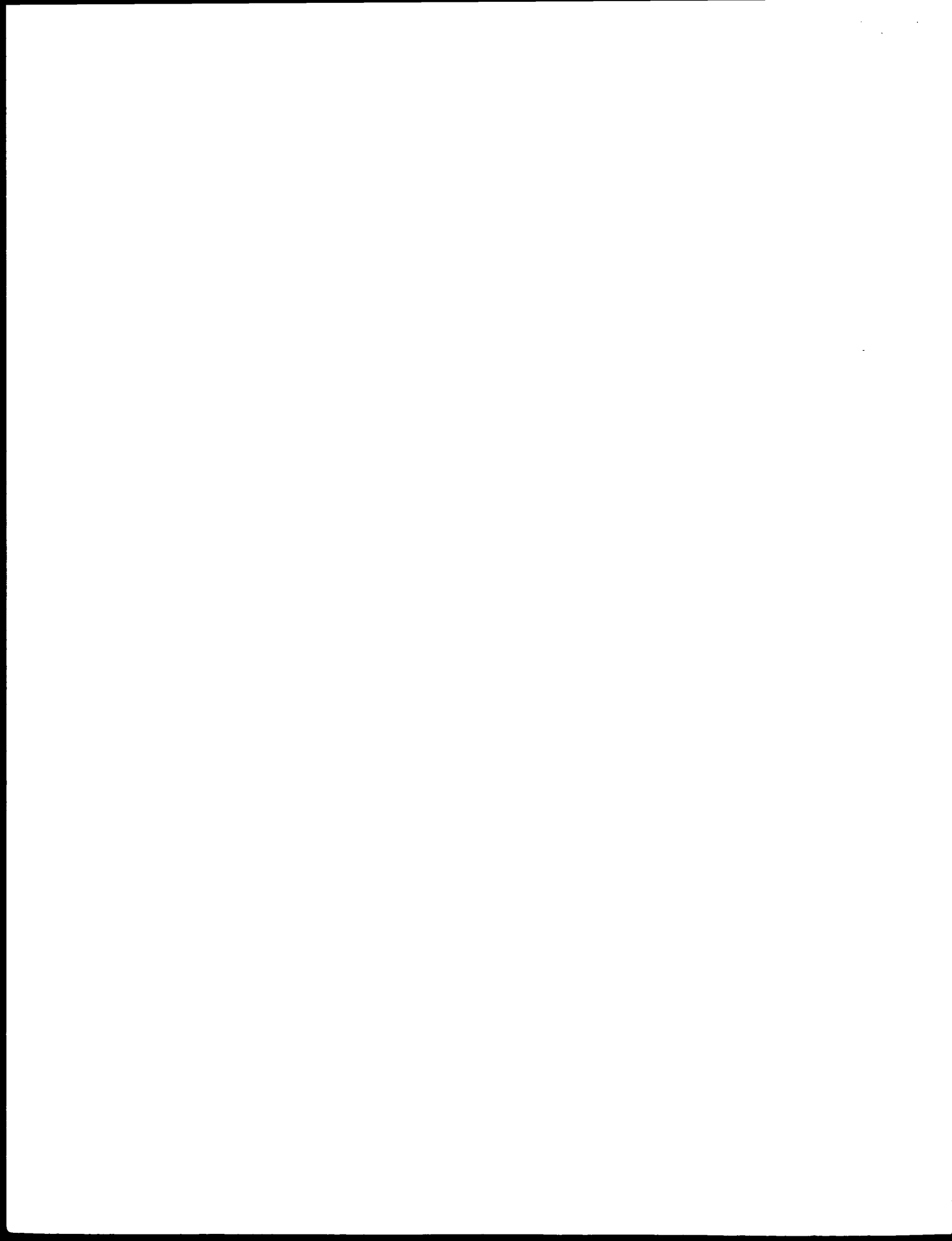
Stand der Technik

Zur Vermessung beidseitig zugänglicher Körper werden vielfach telezentrische Laserscanner eingesetzt. Das Prinzip dieser Scanner zeigt Fig. 1. Die Scannereinheit (1) sendet einen Laserstrahl (2) aus, der auf die gegenüberliegende Empfängereinheit (4) ausgerichtet ist. Befindet sich kein Meßobjekt (3) im Strahlengang, so gelangt der Strahl unbeeinflusst in den Empfänger und wird dort mit einer, im Brennpunkt der Empfängeroptik (5) angeordneten, Fotodiode (6) detektiert. Trifft der Strahl auf ein Meßobjekt, so wird er abgeschattet. Zur Vermessung wird der Laserstrahl mit konstanter Geschwindigkeit (Scangeschwindigkeit v_s) parallel zur Verbindungslinie Scanner-Empfänger verschoben. Ist die Scangeschwindigkeit bekannt, kann die Größe des Meßobjekts senkrecht zur Verschieberichtung aus der Zeitdauer der Abschattung des Strahls berechnet werden.

Die Berücksichtigung der Scangeschwindigkeit kann mit folgenden Verfahren erfolgen:

1. sie wird z. B. mit Hilfe einer Regelung konstant gehalten und dieser konstante Wert wird als Parameter in der Auswertung berücksichtigt,
2. sie wird gemessen. Die Messung erfolgt z.B. indirekt über eine Messung der Winkelgeschwindigkeit der Umlenkeinheit im Scanner oder direkt mittels zweier, im Scanner fest angeordneter, Fotodioden (7). Letztere detektieren den Zeitpunkt des Scanstarts (t_{start}) bzw. des Scanstops (t_{stop}). Die Scangeschwindigkeit ist der Quotient aus dem Abstand der Fotodioden und der Zeitdifferenz zwischen Scanstop und Scanstart. Der Abstand der Fotodioden wird durch Kalibrierung ermittelt.

Bei anderen Scannerkonzepten wird anstelle einer Fotodiode in der Brennebene der Empfängeroptik eine spezielle Blende und zwei Fotodioden eingesetzt (EP 0 439 803). Dieses Konzept gestattet die Vermessung des Schattenwurfs von Objekten, die eine Ausdehnung kleiner als der Strahldurchmesser des Laserstrahls aufweisen. Dazu wird das Fraunhofer-Beugungsmuster ausgewertet, wenn der Laserstrahl genau auf das Meßobjekt ausgerichtet ist. Dieser Zeitpunkt ist dadurch gekennzeichnet,



daß dann die Summe beider Intensitäten maximal ist. Aus dem Verhältnis der zu diesem Zeitpunkt mit den einzelnen Fotodioden gemessenen Intensitäten wird die Größe des Meßobjekts ermittelt.

Probleme

Letztlich können mit den beschriebenen Laserscannern lediglich beidseitig zugängliche Objekte vermessen werden. Prinzipiell meßbar sind alle Eigenschaften, die zu einer kompletten Abschattung des Laserstrahls durch das Meßobjekt führen. Dies sind zum Beispiel:

- bei massiven Stäben der Durchmesser,
- bei Profilkörpern die maximale Ausdehnung in Scanrichtung (die Richtung in der sich der Laserstrahl mit der Zeit durch das Meßfeld bewegt),
- bei kammförmigen Strukturen die Breite der Zinken bzw. Zwischenräume dazwischen.

Objekteigenschaften, die nicht zu einer kompletten Abschattung bzw. zu Fraunhofer-Beugung führen bzw. nur einseitig zugängliche Meßobjekte sind nach dem Stand der Technik mit telezentrischen Laserscannern nicht vermessbar.

Aufgabe der Erfindung ist es das Laserscanner-Meßsystem so zu verbessern, daß es zur Vermessung einseitig zugänglicher und/oder komplex geformter oder strukturierter Objekte geeignet ist. Erfindungsgemäß wird dies erreicht durch das Laserscanner-Meßsystem nach Anspruch 1. Vorteilhafte Ausgestaltungen des Meßsystems sind in den Unteransprüchen gekennzeichnet.

Erfindung

Gegenstand der Erfindung ist ein Laserscanner-Meßsystem zur Vermessung einseitig zugänglicher und / oder komplex geformter oder strukturierter Objekte.

Nach Anspruch 1 wird die Vermessung von einer Seite aus mittels eines Laserscanner-Meßsystems erreicht, das beispielsweise aus einer kombinierten Beleuchtungs- Empfängereinheit (s. Fig. 2, Nr. 8) besteht. Vom Laser 12 ausgehend durchquert der Laserstrahl den Strahlteiler 11 und gelangt über die Ablenkeinheit 10 und die kombinierte Sender-Empfängeroptik 13 in den Außenraum. Trifft der Laserstrahl auf ein spiegelndes

Oberflächenelement des Meßobjekts, dessen Flächennormale mit der Richtung des Laserstrahls zusammenfällt, so wird der Laserstrahl in die Empfängereinheit zurückgespiegelt. Er gelangt über die Optik, die Umlenkeinheit und den Strahlteiler auf den Detektor 6. Aus der Messung des Zeitpunkts, zu dem der Laserstrahl zurückgespiegelt wird, kann die Position dieses senkrecht zum Laserstrahl orientierten Flächenelements bestimmt werden. Beipielsweise kann derart eine Bestimmung des Mittelpunkts eines blanken Stabes mit kreisförmigem Querschnitt erfolgen.

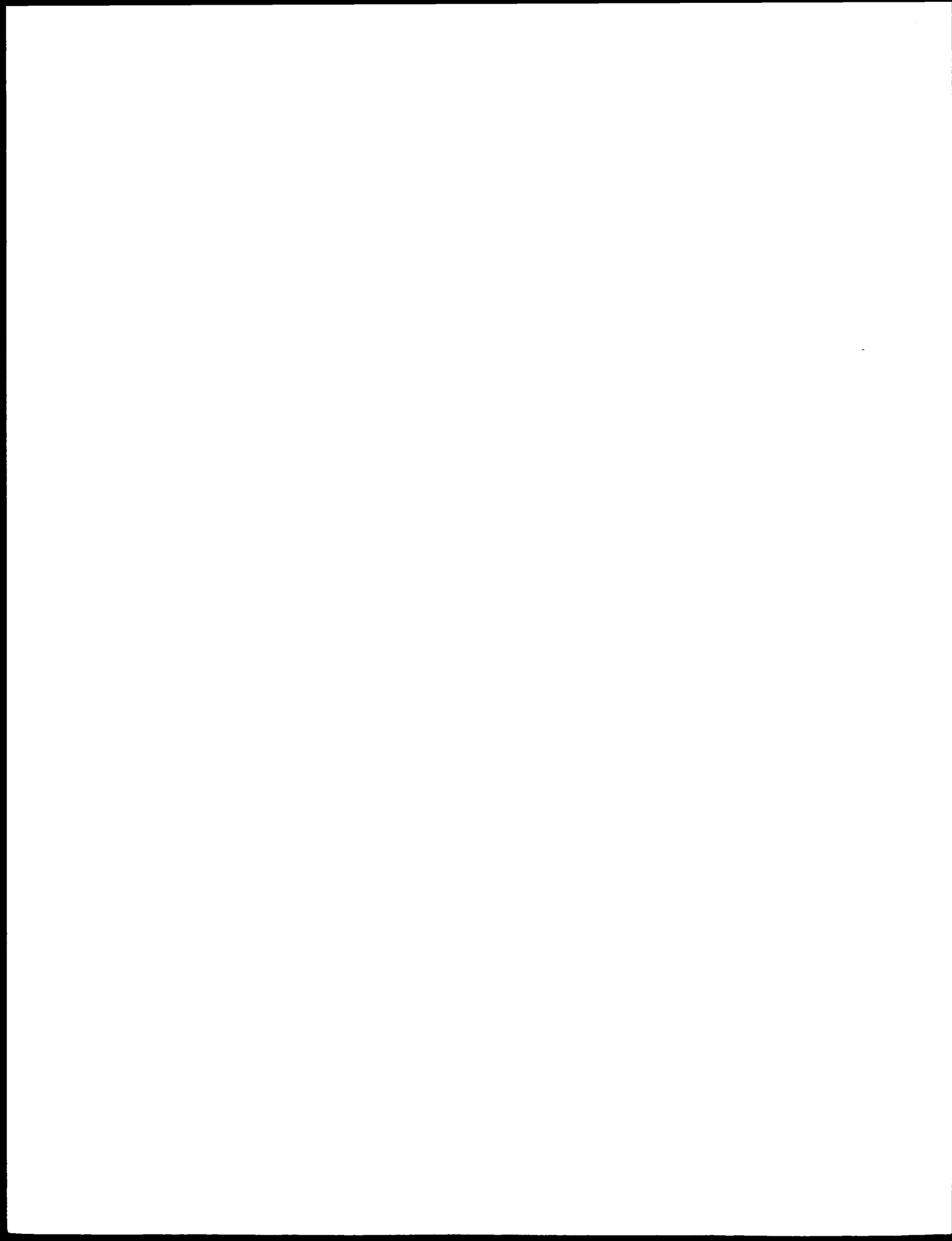
Die Ausdehnung von Objekten mit matter Oberfläche kann vermessen werden, sofern sich die Streueigenschaften der Objektoberfläche deutlich von den Streueigenschaften des Hintergrundes 9 unterscheiden lassen.

Überstreicht der Laserstrahl eine Objektoberfläche, deren Streueigenschaften sich im Meßfeld ändert, so kann die Ausdehnung von Zonen mit deutlich unterschiedlicher Streucharakteristik vermessen werden. Weist das Objekt beispielsweise im festen Zustand eine matte und im flüssigen Zustand eine blanke Oberfläche auf, so kann die Größe des flüssigen Bereichs aus dem Intensitätsverlauf ermittelt werden.

Die Messung des Beginns bzw. Endes eines Scans kann nach Anspruch 2 erreicht werden, indem zwei retroreflektierende Marken (Folienpunkte) in der Scanner-Empfängereinheit angeordnet werden. Die Detektion der Zeitpunkte kann mittels der Empfängerdiode erfolgen.

Kann in Abstrahlrichtung hinter dem Meßobjekt eine retroreflektierende Einheit gemäß Anspruch 3 angeordnet werden (z. B. retroreflektierende Folie 9a, verspiegelte Quaderecke 9b oder „lens-type“ Retroreflektor), so sind weitere Objekteigenschaften vermeßbar. Die Retroreflektoreinheit reflektiert die auftreffenden Strahlen in sich bzw. in der Richtung senkrecht zur Scanebene (definiert durch die optische Achse des Laserscanners und die Bewegungsrichtung des Laserstrahls) versetzt in die Scanner-Empfängereinheit zurück. Durch besondere Ausbildungen oder Anordnungen des Retroreflektors lassen sich spezielle Arten der Vermessung realisieren. Als Beispiele seien folgende besonders ausgezeichnete Ausführungen genannt:

- wird ein Folienreflektor (9b in Fig. 2b) verwendet, so kann der Schattenwurf und aus dem Schatten die Außenkontur eines praktisch nur einseitig zugänglichen Meßobjekts bestimmt werden,
- andere Retroreflektoren (in Form zweier zueinander senkrechter Spiegel (s. 9c in Fig. 2c), Prismas oder Retroreflektoren bestehend aus einer rückseitig verspiegelten Kombination zweier sphärischer Linsen bzw. Zylinderlinsen (9d in Fig. 2d)) ermöglichen - je nach Dimensionierung der Optik und Elektronik des Scannersystems die Vermessung der maximalen



bzw. mittleren Ausdehnung des Meßobjekts über die Richtung senkrecht zur Symmetrieachse des Retroreflektors.

Neben der Möglichkeit zur Ermittlung weiterer geometrischer Größen des Meßobjekts bzw. der Möglichkeit zur Vermessung schwer zugänglicher Objekte, bietet eine erfindungsgemäße Anordnung mit Retroreflektoren den Vorteil, daß nur ein Gerät verkabelt werden muß. Bei Verwendung eines Folienreflektors muß zudem keine Justage der Reflektoreinheit erfolgen.

Eine sehr genaue Bestimmung des Zeitpunkts, an dem der Laserstrahl auf das Meßobjekt trifft, kann erfolgen, indem nach Anspruch 4

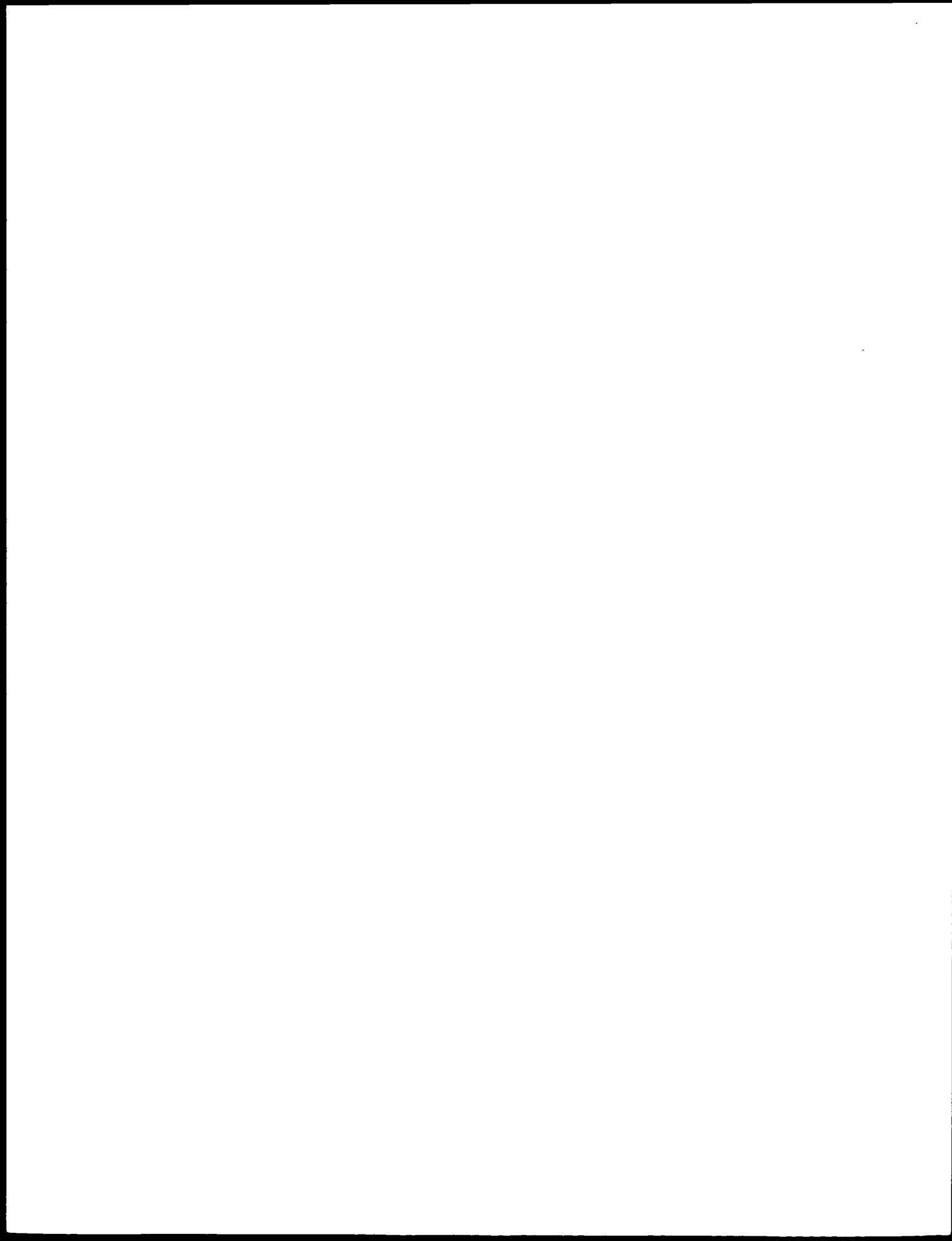
- vor dem Fotodetektor eine Dunkelblende angeordnet wird und die
- Auswerteelektronik die Zeitpunkte bestimmt, an denen die auf den Detektor auftreffende Strahlung einen Maximalwert erreicht.

Diese Auswertung nutzt die Beugung der Grenzstrahlen an den Objektkanten. Sie wird durch Änderungen der Leistung des Lasers und Änderung der Intensität der Laserstrahlung im Verlauf eines Scans wenig beeinflusst. Sie ist sowohl mit einem Laserscanner mit getrennten Sender- und Empfängereinheiten (s. Fig. 3), als auch mit Laserscannern mit einer gemeinsamen Sende- Empfangseinheit realisierbar (s. Fig. 4). In letzterer ist es gegebenenfalls vorteilhaft vor der Dunkelfeldblende eine zusätzliche Linse 16 anzuordnen.

Werden telezentrische Laserscanner nach dem Stand der Technik zur Vermessung von Glasrohren benutzt, können Fehlfunktionen auftreten, da es neben den Schattenkanten am Außendurchmesser drei zusätzliche ausgezeichnete Strahlengänge gibt, bei denen Licht von der Scannereinheit in den Empfänger gelangt:

1. Rohrmitte: das Rohr wirkt dort wie eine Linse, der Mittenstrahl gelangt praktisch ungeschwächt auf den Detektor.
2. zwei Reflexionen an der Innenwand: die auf das Rohr fallende Strahlung wird beim Eintritt in das Rohr zur Rohrmitte gebrochen, an der Innenwand reflektiert und beim Austritt erneut gebrochen. An genau 2 Stellen auf dem Rohr sind die einfallenden und die austretenden Strahlen parallel zueinander, so daß die Strahlen im Empfänger detektiert werden können. Die Position dieser Stellen auf dem Rohr hängt vom Durchmesser, von der Wanddicke und vom Brechungsindex des Rohres ab.

Die Amplitude dieser Signale ist bei Anordnungen nach dem Stand der Technik gering, kann jedoch die Vermessung stören. Eine der erfin-



~
 dungsgemäßen Anordnungen nach Anspruch 4 führt dazu, daß die Reflexionen an der Innenwand sehr gut detektierbare Signale mit großem Störabstand liefern, aus denen die Wanddicke der Rohre berechnet werden kann. Diese Signale können sehr gut ausgewertet werden indem mit der Auswerteelektronik die Zeitpunkte bestimmt werden, an denen das Signal lokale Maxima erreicht. Eine Methode dazu ist mit der Auswerteelektronik folgende Bedingungen zu überprüfen:

1. Die Ableitung des Signals hat einen Nulldurchgang.
2. Das Signal ist größer als das Rauschen.

Werden die Zeiten, zu denen beide Bedingungen erfüllt sind gemessen, kann für Glasrohre eine relativ störungsempfindliche Erfassung des Durchmessers und zweier Wanddickewerte erfolgen.

Störungen kann es bei dieser Art der Kanten- und Reflexauswertung geben, wenn die Vermessung in einer staubigen Umgebung oder in einer Umgebung mit starken Luftbewegungen oder Luftturbulenzen durchgeführt werden muß. In diesen Fällen kann mit einer Anordnung nach Anspruch 5 eine erhebliche Steigerung der Robustheit der Vermessung erreicht werden. Dazu wird der Empfängerstrahlengang mit einem Strahlteiler 17 (s. Fig. 5 und Fig. 6) derart aufgespalten, daß ein Teil der Strahlung auf eine Fotodiode mit davor angeordneter Dunkelfeldblende gelangt, ein anderer Teil der Strahlung gelangt direkt auf eine zweite Fotodiode. Die Bestimmung der Kanten kann auf die oben beschriebene Art erfolgen. Die zusätzlich vorhandene Intensitätsmessung wird genutzt, um sicherzustellen, daß nur Signalmaxima im Bereich zwischen den Schattenkanten zur Auswertung herangezogen werden. Störungen durch Luftschlieren oder Staub im Bereich außerhalb der Schattenkanten werden eliminiert, indem die Auswertung gesperrt wird, solange oder sobald das Signal auf der zweiten Fotodiode größer als ein (gegebenenfalls einstellbarer) Schwellwert ist.



Eine äquivalente Bestimmung der Kanten- und Reflexpositionen kann durchgeführt werden, wenn gemäß Anspruch 6 anstelle einer Fotodiode ein Fotodiodenarray oder eine Fotodiodenmatrix in der Brennebene der Empfängeroptik bzw. hinter der Strahlableitereinheit angeordnet wird. Sie ist derart anzuordnen, daß ein Element des Arrays den Anteil der Strahlung detektiert, welcher den Außenraum ohne Wechselwirkung mit dem Meßobjekt durchquert. Das Signal dieses Elements hat einen Verlauf, wie er auch mit der zweiten Fotodiode in einer Anordnung nach Anspruch 5 detektiert wird, jedoch doppelte Amplitude (da keine Verluste an dem Strahlteiler entstehen).

Mit einer positionsempfindlichen Fotodiode (s. Anspruch 6) kann die Lage der Schattenkanten bzw. der Innenreflexe und zusätzlich der mittlere

Differenzwinkel der Oberflächen eines teiltransparenten Meßobjekts gegen die Scanrichtung und die Scanebene vermessen werden. Die zusätzliche Vermessung nutzt den Effekt, daß der Winkel der Oberflächenelemente zu einer Ablenkung des transmittierten Strahls führt, der als Höhenversatz in der Brennebene detektiert werden kann.

Eine positionsempfindliche Fotodiode erlaubt ferner die gleichzeitige Bestimmung des Reflexes an der Objektoberfläche und des Kippwinkels des Objekts gegen die Scanebene. Dazu wird sie als Sensor in einem Empfänger eingesetzt, der gemäß Anspruch 7 unter einem Winkel ungleich 0° oder 180° zur optischen Achse des Scanners angeordnet ist.

Werden zwei Empfänger auf gegenüberliegenden Seiten des Meßobjekts unter einem Winkel gegen die Scanrichtung angeordnet, so können Meßobjekte vermessen werden, deren Ausdehnung größer als die Breite des abgescannten Bereiches ist. Werden die Empfänger beispielsweise unter $\pm 90^\circ$ zur Strahlrichtung angeordnet, erhält man bei Objekten mit kreisförmigem Querschnitt eine Verkleinerung um den Faktor $2^{0.5}$. Das bedeutet Objekte mit einer Ausdehnung bis zum 1,4-fachen des abgescannten Bereichs können noch vermessen werden.

Äquivalent dazu ist die Anordnung mehrerer (zusätzlicher) Retroreflektoreinheiten an entsprechenden Stellen, sofern eine kombinierte Sende-Empfangseinheit verwendet wird (s. Fig. 7).

Durch Wahl des Winkels der Empfänger bzw. Retroreflektoreinheit(en) gegen die Scanrichtung kann der Maßstab der Verkleinerung in weiten Grenzen variiert werden.

Werden zur Vermessung mehrere Retroreflektoren eingesetzt und beispielsweise unter 180° , unter $+90^\circ$ und -90° zur Scannereinheit angeordnet, erhält man den Mittelpunkt und mehrere Punkte auf dem Umfang des Meßobjekts (s. Fig. 7). Daraus kann beispielsweise die Abweichung der Form des Meßobjekts von der Idealform vermessen werden. Beispielsweise kann der vermessene Objektquerschnitt durch eine Ellipse beschrieben werden. Aus den Parametern der Ellipse kann die Abweichung des Querschnitts von einer idealen Kreisform ermittelt werden.

Wird eine derartige Anordnung mit einem Scanner aufgebaut, der eine konvergente oder divergente Abstrahlrichtung aufweist, können aus den Grenzstrahlen (Schattenkanten) 2 Tangenten an das Meßobjekt bestimmt werden. Zusätzliche Punkte auf der Objektoberfläche erhält man durch Auswertung der retroreflektierten Strahlen. Aus diesen Meßgrößen kann der Durchmesser und die Lage des Meßobjekts in der Scanebene bestimmt werden.

Weitere Vorteile bietet diese Anordnung bei der Vermessung transparenter Rohre. Der Abstand zwischen den an der Außenwand und an der Innenwand reflektierten Strahlen ist bei dieser Anordnung erheblich größer als bei der 180° Anordnung. Sie ermöglicht daher eine Verbesserung der Meßgenauigkeit bzw. die Vermessung dünnwandiger Rohre.

Weitere geometrische Kenngrößen des Meßobjekts werden der Messung zugänglich, sofern nach Anspruch 8 der Laserstrahl mit optischen Mitteln (wie z.B. einem parallel zur Scanrichtung angeordneten Gitter) senkrecht zur Scanebene aufgespalten wird. Im Falle der Verwendung separater Empfänger wird für jede Scanlinie ein eigener Empfänger vorgesehen. Wird eine kombinierte Scanner/ Empfängerseinheit eingesetzt, wird vorzugsweise vor dem Strahlteiler für die Aufteilung zwischen Sende- und Empfangsstrahlengang ein Gitter angeordnet und mittels des Gitters aufgespalten. Im Empfängerstrahlengang befinden sich dann im Brennpunkt der Optik pro auszuwertendem Strahlengang je eine Fotodiode bzw. ein Element eines Fotodiodenarrays. Durch die Aufspaltung des Scanstrahlengangs in mehrere Partialstrahlengänge kann der Verlauf der Objektgeometrie über die Ebene senkrecht zur Scanebene ermittelt werden. Damit kann beispielsweise ein konischer Verlauf der Objektkontur oder eine Krümmung des Meßobjekts sicher erfaßt werden.

Ein größerer Winkel zwischen den Partialstrahlengängen kann gegebenenfalls durch Verwendung einer Zylinderoptik im Sendestrahlgang erreicht werden.

Eine Erweiterung des Meßverfahrens wird durch ein optisches Bauelement zur Aufspaltung eines Laserstrahls in mehrere, in der Scanebene liegende, Teilstrahlengänge (s. Anspruch 9, beispielsweise ein Gitter, dessen Linien senkrecht zur Scanebene verlaufen) ermöglicht.

Wird das Element im Bereich zwischen dem Laser und dem Brennpunkt der Scanneroptik angeordnet, treffen mehrere Strahlen auf die Ablenkeinheit in der Brennebene der Senderoptik. Dadurch emittiert die Scannereinheit mehrere Strahlenbündel. Sie liegen in der Scanebene (der Ebene, welche durch die Scanrichtung und die optische Achse definiert ist), weisen aber einen (ggf. mit dem Ort variierenden) Winkel zur Scanrichtung auf. Diese Strahlen werden am Meßobjekt abgeschattet, gebeugt oder reflektiert und können in der Empfängeroptik in der Brennebene in einem definierten Abstand zum Brennpunkt detektiert werden. Dazu muß dort pro Teilstrahlengang ein Fotodetektor oder ein Element eines Detektorarrays vorgesehen werden. Über eine Auswertung der Schattenkanten bzw. der Reflexions- oder Beugungspeaks des entsprechenden zeitlichen Intensitätsverlaufs kann die Lage des Objekts in der ausgeleuchteten Ebene vermessen werden.

Die Anordnung polarisierende Strahlteiler im Strahlengang (gemäß Anspruch 10) ermöglicht die Erfassung des Polarisationszustands der detektierten Strahlung. Damit können Objekteigenschaften vermessen werden, welche die Polarisationszustände der transmittierten Strahlen unterschiedlich beeinflussen. Neben dem Strahlteiler ist zusätzlich jeweils ein Detektorelement pro zu erfassender Meßgröße im Empfängerstrahlengang anzuordnen. Aus den Unterschieden der Intensitäten kann die zu erfassende Objektkenngroße bestimmt werden.

Für doppelbrechende oder optisch aktive Folien kann beispielsweise die optische Weglänge und damit die Schichtdicke oder das Drehvermögen in Richtung der optischen Achse ermittelt werden. Dazu wird ein Scanner mit einem zirkular polarisierten Laserstrahl verwendet und ein polarisierender Strahlteiler im Sender- oder Empfängerstrahlengang, sowie für jeden Teilstrahlengang ein Fotodetektor(element) im Empfänger angeordnet.

Weitere zusätzliche, die Polarisation der transmittierten Strahlung beeinflussende Kenngrößen des Objekts sind meßbar, sofern sowohl im Sende- als auch im Empfängerstrahlengang eine Aufspaltung der unterschiedlich polarisierten Strahlungskomponenten erfolgt.

Werden zusätzlich zu dieser Aufspaltung (nach Anspruch 11) ein oder mehrere wellenlängenselektive Filter in den Empfängerstrahlengang eingebracht, so kann für Substanzen (z.B. PET), die intrinsische polarisierte Fluoreszenz aufweisen, eine gleichzeitige Vermessung folgender Kenngrößen erfolgen:

1. Objektposition und Ausdehnung in Scanrichtung,
2. Verlauf des 1. Moments der Orientierungsverteilungsfunktion,
3. Verlauf des 2. Moments der Orientierungsverteilungsfunktion.

Bei PET tritt die intrinsische polarisierte Fluoreszenz selektiv in den nicht-kristallinen Bereichen auf. Diese sind für die mechanischen Eigenschaften und die Anfärbbarkeit des Objekts entscheidend. Mit der beschriebenen Anordnung kann - über eine Vermessung der Momente der Orientierungsverteilungsfunktion - selektiv der Verlauf dieser Größen im Material erfaßt werden.

Weitere Kenngrößen des Meßobjekts lassen sich ermitteln, sofern nach Anspruch 12 in der Empfängereinheit zwei Strahlengänge (der vom Objekt kommende Strahlengang und ein Referenzstrahlengang oder ein den Objektraum durchquerender bzw. vom Objekt kommender, gegebenenfalls modulierter, zweiter Strahlengang) so überlagert werden, daß die Strahlen interferieren. Je nach Ausbildung dieses Strahlengangs und

Signalauswertung kann dann, zusätzlich zur Ermittlung der oben beschriebenen Kenngrößen, der Abstand oder die Kontur eines Meßobjekts in Richtung der optischen Achse bzw. die Geschwindigkeit der Bewegung des Meßobjekts durch die Scanebene erfaßt werden. Bei Nutzung des Retroreflektorprinzips kann der Referenzstrahlengang beispielsweise in Form eines Michelson-Interferometers im Inneren der kombinierten Sendempfangseinheit aufgebaut werden. Im Falle der Verwendung einer separaten Empfängereinheit kann der Referenzstrahlengang (am Meßobjekt vorbei) durch den Objektraum oder mittels Lichtleiter vom Scanner zum Empfänger geführt werden.

Die aufgeführten Meßarten sind untereinander nahezu beliebig kombinierbar. Besonders vorteilhaft kann dies mit einem modularen System realisiert werden, das aus einem Scannerkopf, einem Meßmodul und gegebenenfalls einem Empfängergehäuse mit Optik besteht. Die Scannereinheit 1 besteht aus

- einem Laser (12),
- einer Ablenkeinheit (10) und
- einer Optik 19,

sowie gegebenenfalls (bei Vermessung der Reflexion bzw. Rückstreuung oder Nutzung einer Retroreflektoreinheit) den zusätzlichen Komponenten:

- Empfängermodul (20)
- Scanstart- und Scanstopreflektor (14).

Das Empfängermodul weist Montagemöglichkeiten für Detektormodule (s. schematische Darstellung in Fig. 11b), Linsen oder Spiegel (Positionen A bis H in Fig. 11a) und Strahlteiler auf (s. Positionen St1 bis St3 in Fig. 11a). Je nach Bestückung des Empfängermoduls und der gewählten Anordnung lassen sich unterschiedliche Kombinationen verschiedener Meßgrößen ableiten. Einige Beispiele dafür sind in Tabelle 1 angegeben:

Modus	Empfänger	Objekt	Meßgrößen	Bauelement	Position
1	separat 180°	Glasrohr	Durchmesser, Wanddicke, Mittenposition	Fotodiodenarray D2	A
2	kombiniert	Glasrohr	Durchmesser, Wanddicke,	Strahlteiler 50% Fotodiodenarray	St1 C

			Mittenpositio n	D2	
3	separat 180°	transparente Fasern	Position Durchmesser, Polarisations- grad	Strahlteiler polarisierend Ringfotodiode D4 Fotodiode D1	St1 B C
4	kombinier t	transparente Fasern	Position Durchmesser, Polarisations- grad	Strahlteiler 50% Strahlteiler polarisierend Ringfotodiode D4 Fotodiode D1	St1 St2 B C
5	kombinier t	optisch aktive Schichten	Ausdehnung, Schichtdicke	Strahlteiler 50% Strahlteiler polarisierend Fotodiodenarray D2 Fotodiode 1	St1 St2 B C
6	kombinier t	Stäbe, Rohre	Durchmesser, Konizität, Durchbiegun g	Gitter parallel Scan-richtung Linse Strahlteiler 50% Linse Strahlteiler 50% Fotodiodenarray D2 Fotodiodenarray D3	H B St1 C St2 D E
7	kombinier t	Stäbe, Rohre	Durchmesser, Lage in der Scanebene Konizität, Durchbiegun g, Geschwindig- keit	Kreuzgitter Strahlteiler Linse Strahlteiler 50% Linse Strahlteiler 50% Fotodiodenarray D2 Fotodiodenarray D3 Fotodiode D1 (aktiver) Spiegel	H St3 B St1 C St2 D E F G

Tabelle 1: Beispiele für unterschiedliche Konfigurationen eines erfindungsgemäßen Laserscanner-Meßsystems

Erfindungsgemäße Laserscanner lassen sich gemäß Anspruch 13 besonders vorteilhaft zur Regelung von Produktionsprozessen nutzen, indem sie relevante Prozeßgrößen erfassen, die einer Prozeßsteuerung oder Regelung als Eingangssignale zugeführt werden.

Ansprüche

1. Laserscanner-Meßsystem bestehend aus einer Sendereinheit mit Laser, Strahlablenkeinheit, und einer Senderoptik sowie einem Empfängerteil mit einem Fotodetektor, der in der Brennebene der Optik angeordnet ist, die für den Empfangsstrahlengang ist, dadurch gekennzeichnet,

- daß Scannereinheit und Empfängereinheit auf der gleichen Seite relativ zum Objekt angeordnet sind und
- die Flächennormale der Empfängeroptik zu der Abstrahlrichtung der Scannereinheit parallel ist, das heißt daß Scanner- und Empfängerstrahlengang im Außenraum zu jedem Zeitpunkt die gleiche optische Achse aufweisen, oder die Achsen zueinander und senkrecht zur Bewegungsrichtung des Laserstrahls parallel verschoben sind.

2. Laserscanner -Meßsystem nach Anspruch 1

dadurch gekennzeichnet

daß im Inneren der Scannereinheit, im Bereich zwischen der Strahlablenkung und dem Strahlaustritt, mindestens ein Retroreflektor oder eine retroreflektierende Marke angeordnet ist.

3. Laserscanner-Meßsystem nach Anspruch 1 oder 2

dadurch gekennzeichnet,

daß sich von der Scannereinheit aus gesehen hinter dem Meßobjekt eine Retroreflektoreinheit befindet, welche die auffallende Strahlung in sich oder mit einem Parallelversatz zurückspiegelt, so daß der auf die Scanner- Empfängereinheit zurückreflektierte Strahlengang in einer Ebene liegt, die parallel zu der Ebene versetzt ist, welche durch die Scanrichtung (die Richtung in welcher der Laserstrahl durch das Meßfeld bewegt wird) und die optische Achse gegeben ist.

4. Laserscanner-Meßsystem nach dem Oberbegriff des Anspruchs 1 oder den Ansprüchen 1 bis 3

dadurch gekennzeichnet,

daß im Empfängerstrahlengang im Brennpunkt der Empfängeroptik eine Dunkelfeldblende angeordnet ist, hinter der sich der Fotodetektor befindet und die Lage der Schattenkanten aus dem Zeitpunkt ermittelt wird, an dem die Fotodiode maximale Intensität detektiert.

5. Laserscanner-Meßsystem nach Anspruch 4

dadurch gekennzeichnet,

daß der Strahlengang in der Empfängeroptik mittels eines Strahlteilers, der vor der Dunkelfeldblende angeordnet ist, aufgespalten wird und im zweiten Teilstrahlengang eine Fotodiode annähernd im Brennpunkt der Empfängeroptik angeordnet ist.

6. Laserscanner-Meßsystem nach dem Oberbegriff des Anspruchs 1 oder einem der Ansprüche 1 bis 5

dadurch gekennzeichnet, daß

als Fotodetektor ein Fotodiodenarray (Fotodiodenzeile, Fotodiodenmatrix oder Ringdetektor) oder eine positionsauflösende Fotodiode verwendet wird.

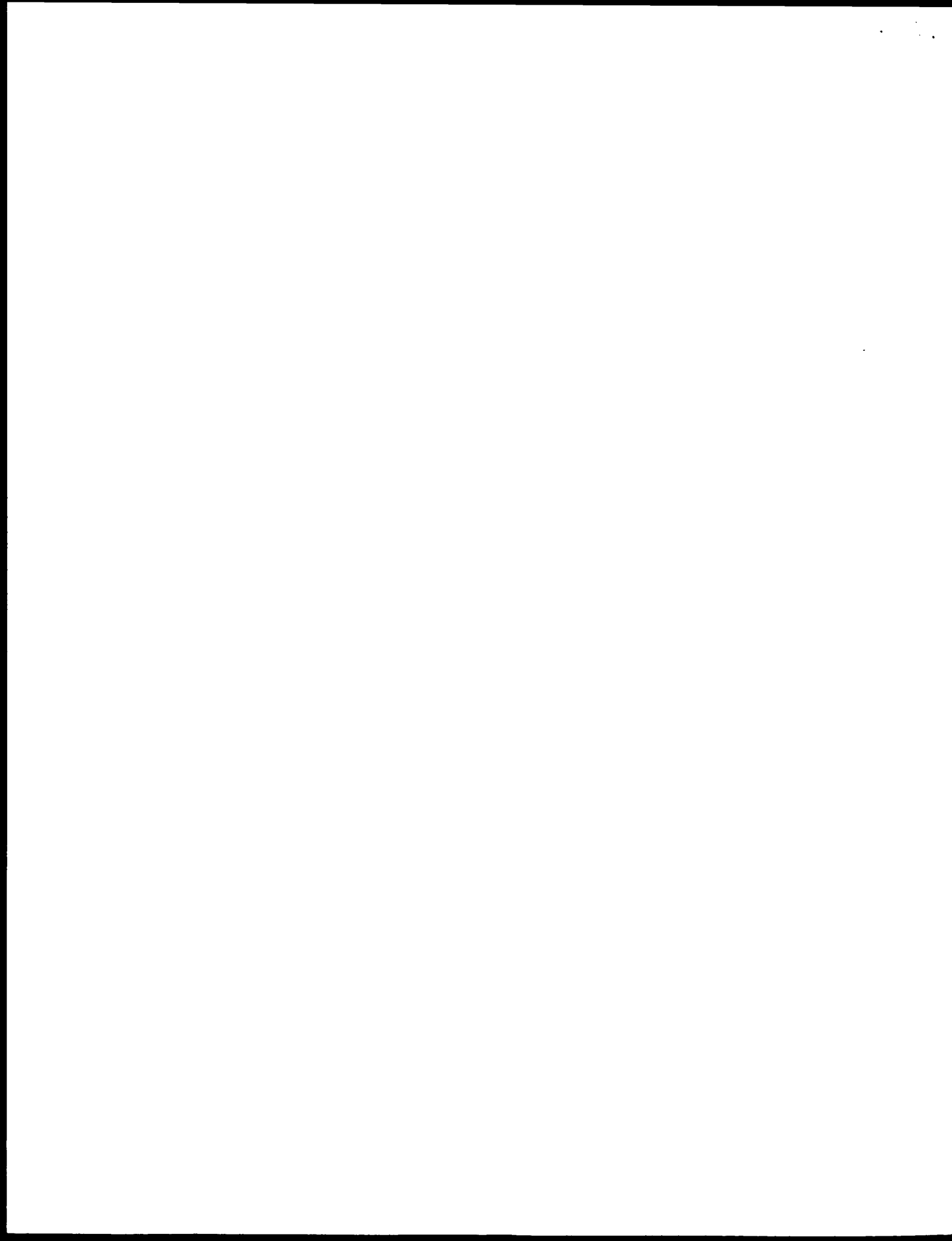
7. Laserscanner-Meßsystem nach den Ansprüchen 1 bis 6

dadurch gekennzeichnet,

daß ein oder mehrere Empfängereinheiten oder Retroreflektoren unter einem Winkel ungleich 0° oder 180° zur optischen Achse der Scannereinheit in der Scanebene angeordnet sind.



8. Laserscanner-Meßsystem nach den Ansprüchen 1 bis 7
dadurch gekennzeichnet,
daß im Scannerstrahlengang eine Optik zur Aufspaltung des Scanstrahles in der Richtung senkrecht zur Scanrichtung (z.B. ein Gitter dessen Linien senkrecht zur Scanrichtung ausgerichtet sind) angeordnet ist.
9. Laserscanner-Meßsystem nach den Ansprüchen 1 bis 8
dadurch gekennzeichnet,
daß im Scannerstrahlengang eine Optik zur Aufspaltung des Scanstrahles in der Richtung parallel zur Scanrichtung (z.B. ein Gitter dessen Linien parallel zur Scanrichtung ausgerichtet sind) angeordnet ist.
10. Laserscanner-Meßsystem nach den Ansprüchen 1 bis 9
dadurch gekennzeichnet,
daß im Beleuchtungsstrahlengang und / oder im Empfängerstrahlengang optische Elemente zur Aufspaltung des Strahlengangs für unterschiedlich polarisierte Strahlung (zum Beispiel polarisierender Strahlteiler, Wollastonprisma, Verzögerungsplatte und Glan-Thomson-Prisma) angeordnet ist.
11. Laserscanner-Meßsystem nach den Ansprüchen 1 bis 10
dadurch gekennzeichnet,
daß im Empfängerstrahlengang wellenlängensensitive Filter (Interferenzfilter, Farbfilter oder Kantenfilter) angeordnet sind.
12. Laserscanner-Meßsystem nach den Ansprüchen 1 bis 11
dadurch gekennzeichnet,
daß in der kombinierten Scanner-Empfängereinheit, im Außenraum oder mittels eines Lichtwellenleiters ein Referenzstrahlengang realisiert ist, der dem vom Meßobjekt kommenden Strahlengang derart überlagert wird, daß das resultierende, sich örtlich und zeitlich, ändernde Interferenzmuster mit mindestens einem Detektorelement detektiert wird.
- 13 Laserscanner-Meßsystem nach den Ansprüchen 1 bis 12 zur Verwendung zur Regelung eines Produktionsprozesses.





PCT
WELTORGANISATION FÜR GEISTIGES EIGENTUM
Internationales Büro
INTERNATIONALE ANMELDUNG VERÖFFENTLICHT NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE
INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES PATENTWESENS (PCT)

(51) Internationale Patentklassifikation ⁶ : G01B 11/10, 11/02, G01S 7/481	A1	(11) Internationale Veröffentlichungsnummer: WO 99/41568 (43) Internationales Veröffentlichungsdatum: 19. August 1999 (19.08.99)		
<table style="width: 100%;"> <tr> <td style="width: 50%; vertical-align: top;"> (21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP99/00903 (22) Internationales Anmeldedatum: 11. Februar 1999 (11.02.99) (30) Prioritätsdaten: 198 06 288.5 16. Februar 1998 (16.02.98) DE (71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten ausser US): FRAUNHOFER-GESELLSCHAFT ZUR FÖRDERUNG DER ANGEWANDTEN FORSCHUNG E.V. [DE/DE]; Leonrodstrasse 54, D-80636 München (DE). (72) Erfinder; und (75) Erfinder/Anmelder (nur für US): HARTRUMPF, Matthias [DE/DE]; Hertzstrasse 164b, D-76187 Karlsruhe (DE). </td> <td style="width: 50%; vertical-align: top;"> (81) Bestimmungsstaaten: JP, KR, US, europäisches Patent (AT, BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE). Veröffentlicht <i>Mit internationalem Recherchenbericht.</i> <i>Vor Ablauf der für Änderungen der Ansprüche zugelassenen Frist; Veröffentlichung wird wiederholt falls Änderungen eintreffen.</i> </td> </tr> </table>			(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP99/00903 (22) Internationales Anmeldedatum: 11. Februar 1999 (11.02.99) (30) Prioritätsdaten: 198 06 288.5 16. Februar 1998 (16.02.98) DE (71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten ausser US): FRAUNHOFER-GESELLSCHAFT ZUR FÖRDERUNG DER ANGEWANDTEN FORSCHUNG E.V. [DE/DE]; Leonrodstrasse 54, D-80636 München (DE). (72) Erfinder; und (75) Erfinder/Anmelder (nur für US): HARTRUMPF, Matthias [DE/DE]; Hertzstrasse 164b, D-76187 Karlsruhe (DE).	(81) Bestimmungsstaaten: JP, KR, US, europäisches Patent (AT, BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE). Veröffentlicht <i>Mit internationalem Recherchenbericht.</i> <i>Vor Ablauf der für Änderungen der Ansprüche zugelassenen Frist; Veröffentlichung wird wiederholt falls Änderungen eintreffen.</i>
(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP99/00903 (22) Internationales Anmeldedatum: 11. Februar 1999 (11.02.99) (30) Prioritätsdaten: 198 06 288.5 16. Februar 1998 (16.02.98) DE (71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten ausser US): FRAUNHOFER-GESELLSCHAFT ZUR FÖRDERUNG DER ANGEWANDTEN FORSCHUNG E.V. [DE/DE]; Leonrodstrasse 54, D-80636 München (DE). (72) Erfinder; und (75) Erfinder/Anmelder (nur für US): HARTRUMPF, Matthias [DE/DE]; Hertzstrasse 164b, D-76187 Karlsruhe (DE).	(81) Bestimmungsstaaten: JP, KR, US, europäisches Patent (AT, BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE). Veröffentlicht <i>Mit internationalem Recherchenbericht.</i> <i>Vor Ablauf der für Änderungen der Ansprüche zugelassenen Frist; Veröffentlichung wird wiederholt falls Änderungen eintreffen.</i>			

(54) Title: LASER SCANNER MEASUREMENT SYSTEM

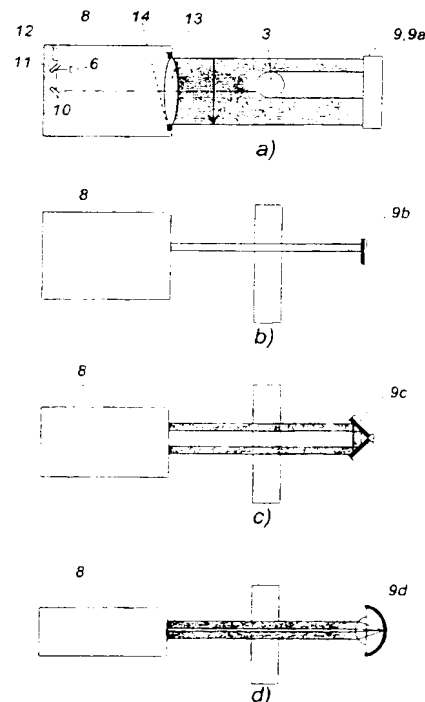
(54) Bezeichnung: LASERSCANNER-MESSSYSTEM

(57) Abstract

The invention relates to a laser scanner measurement system, comprising a transmission unit consisting of a laser, beam deflection unit and transmitting optical system, and a receiving part with a photodetector which is arranged in the focal plane of the optical system destined for the receiving beam path. The invention is characterized in that the scanner unit and receiving unit are arranged on the same side in relation to the object and the surface normal of the receiving optical system is parallel to the direction of radiation of the scanner unit, i.e. that the scanner and receiver beam path in the outer area at all times have the same optical axis or that the axes are displaced parallel to each other and perpendicular to the direction of movement of the laser beam.

(57) Zusammenfassung

Die Erfindung betrifft ein Laserscanner-Meßsystem, bestehend aus einer Sendereinheit mit Laser, Strahlableiteneinheit, und einer Senderoptik sowie einem Empfängerenteil mit einem Fotodetektor, der in der Brennebene der Optik angeordnet ist, die für den Empfangsstrahlengang ist. Die Erfindung zeichnet sich dadurch aus, daß Scannereinheit und Empfängereneinheit auf der gleichen Seite relativ zum Objekt angeordnet sind und die Flächennormale der Empfängeroptik zu der Abstrahlrichtung der Scannereinheit parallel ist, das heißt, daß Scanner- und Empfängerstrahlengang im Außenraum zu jedem Zeitpunkt die gleiche optische Achse aufweisen, oder die Achsen zueinander und senkrecht zur Bewegungsrichtung des Laserstrahls parallel verschoben sind.



LEDIGLICH ZUR INFORMATION

Codes zur Identifizierung von PCT-Vertragsstaaten auf den Kopfbögen der Schriften, die internationale Anmeldungen gemäss dem PCT veröffentlichen.

AL	Albanien	ES	Spanien	LS	Lesotho	SI	Slowenien
AM	Armenien	FI	Finnland	LT	Litauen	SK	Slowakei
AT	Österreich	FR	Frankreich	LU	Luxemburg	SN	Senegal
AU	Australien	GA	Gabun	LV	Lettland	SZ	Swasiland
AZ	Aserbaidschan	GB	Vereinigtes Königreich	MC	Monaco	TD	Tschad
BA	Bosnien-Herzegowina	GE	Georgien	MD	Republik Moldau	TG	Togo
BB	Barbados	GH	Ghana	MG	Madagaskar	TJ	Tadschikistan
BE	Belgien	GN	Guinea	MK	Die ehemalige jugoslawische Republik Mazedonien	TM	Turkmenistan
BF	Burkina Faso	GR	Griechenland	ML	Mali	TR	Türkei
BG	Bulgarien	HU	Ungarn	MN	Mongolei	TT	Trinidad und Tobago
BJ	Benin	IE	Irland	MR	Mauretanien	UA	Ukraine
BR	Brasilien	IL	Israel	MW	Malawi	UG	Uganda
BY	Belarus	IS	Island	MX	Mexiko	US	Vereinigte Staaten von Amerika
CA	Kanada	IT	Italien	NE	Niger	UZ	Usbekistan
CF	Zentralafrikanische Republik	JP	Japan	NL	Niederlande	VN	Vietnam
CG	Kongo	KE	Kenia	NO	Norwegen	YU	Jugoslawien
CH	Schweiz	KG	Kirgisistan	NZ	Neuseeland	ZW	Zimbabwe
CI	Côte d'Ivoire	KP	Demokratische Volksrepublik Korea	PL	Polen		
CM	Kamerun	KR	Republik Korea	PT	Portugal		
CN	China	KZ	Kasachstan	RO	Rumänien		
CU	Kuba	LC	St. Lucia	RU	Russische Föderation		
CZ	Tschechische Republik	LI	Liechtenstein	SD	Sudan		
DE	Deutschland	LK	Sri Lanka	SE	Schweden		
DK	Dänemark	LR	Liberia	SG	Singapur		
EE	Estland						

Laserscanner-Meßsystem

Beschreibung

Die Erfindung betrifft ein konfigurierbares Laserscanner-Meßsystem zur Vermessung einseitig zugänglicher und/oder komplex geformter oder strukturierter Objekte gemäß dem Oberbegriff des Anspruch 1.

Stand der Technik

Zur Vermessung beidseitig zugänglicher Körper werden vielfach telezentrische Laserscanner eingesetzt. Das Prinzip dieser Scanner zeigt Fig. 1. Die Scannereinheit (1) sendet einen Laserstrahl (2) aus, der auf die gegenüberliegende Empfängereinheit (4) ausgerichtet ist. Befindet sich kein Meßobjekt (3) im Strahlengang, so gelangt der Strahl unbeeinflusst in den Empfänger und wird dort mit einer, im Brennpunkt der Empfängeroptik (5) angeordneten, Fotodiode (6) detektiert. Trifft der Strahl auf ein Meßobjekt, so wird er abgeschattet. Zur Vermessung wird der Laserstrahl mit konstanter Geschwindigkeit (Scangeschwindigkeit v_s) parallel zur Verbindungsline Scanner-Empfänger verschoben. Ist die Scangeschwindigkeit bekannt, kann die Größe des Meßobjekts senkrecht zur Verschieberichtung aus der Zeitdauer der Abschattung des Strahls berechnet werden.

Die Berücksichtigung der Scangeschwindigkeit kann mit folgenden Verfahren erfolgen:

1. sie wird z. B. mit Hilfe einer Regelung konstant gehalten und dieser konstante Wert wird als Parameter in der Auswertung berücksichtigt,
2. sie wird gemessen. Die Messung erfolgt z.B. indirekt über eine Messung der Winkelgeschwindigkeit der Umlenkeinheit im Scanner oder direkt mittels zweier, im Scanner fest angeordneter, Fotodioden (7). Letztere detektieren den Zeitpunkt des Scanstarts (t_{start}) bzw. des Scanstops (t_{stop}). Die Scangeschwindigkeit ist der Quotient aus dem Abstand der Fotodioden und der Zeitdifferenz zwischen Scanstop und Scanstart. Der Abstand der Fotodioden wird durch Kalibrierung ermittelt.

Bei anderen Scannerkonzepten wird anstelle einer Fotodiode in der Brennebene der Empfängeroptik eine spezielle Blende und zwei Fotodioden eingesetzt (EP 0 439 803). Dieses Konzept gestattet die Vermessung des Schattenwurfs von Objekten, die eine Ausdehnung kleiner als der Strahldurchmesser des Laserstrahls aufweisen. Dazu wird das Fraunhofer-Beugungsmuster ausgewertet, wenn der Laserstrahl genau auf das Meßobjekt ausgerichtet ist. Dieser Zeitpunkt ist dadurch gekennzeichnet, daß dann die Summe beider Intensitäten maximal ist. Aus dem Verhältnis der zu diesem Zeitpunkt mit den einzelnen Fotodioden gemessenen Intensitäten wird die Größe des Meßobjekts ermittelt.

Probleme

Letztlich können mit den beschriebenen Laserscannern lediglich beidseitig zugängliche Objekte vermessen werden. Prinzipiell meßbar sind alle Eigenschaften, die zu einer kompletten Abschattung des Laserstrahls durch das Meßobjekt führen. Dies sind zum Beispiel:

- bei massiven Stäben der Durchmesser,
- bei Profilkörpern die maximale Ausdehnung in Scanrichtung (die Richtung in der sich der Laserstrahl mit der Zeit durch das Meßfeld bewegt),
- bei kammförmigen Strukturen die Breite der Zinken bzw. Zwischenräume dazwischen.

Objekteigenschaften, die nicht zu einer kompletten Abschattung bzw. zu Fraunhofer-Beugung führen bzw. nur einseitig zugängliche Meßobjekte sind nach dem Stand der Technik mit telezentrischen Laserscannern nicht vermessbar.

Aufgabe der Erfindung ist es das Laserscanner-Meßsystem so zu verbessern, daß es zur Vermessung einseitig zugänglicher und/oder komplex geformter oder strukturierter Objekte geeignet ist. Erfindungsgemäß wird dies erreicht durch das Laserscanner-Meßsystem nach Anspruch 1. Vorteilhafte Ausgestaltungen des Meßsystems sind in den Unteransprüchen gekennzeichnet.

Erfindung

Gegenstand der Erfindung ist ein konfigurierbares Laserscanner-Meßsystem zur Vermessung einseitig zugänglicher und / oder komplex geformter oder strukturierter Objekte.

Nach Anspruch 1 wird die Vermessung von einer Seite aus mittels eines Laserscanner-Meßsystems erreicht, das beispielsweise aus einer kombinierten Beleuchtungs-Empfängereinheit (s. Fig. 2, Nr. 8) besteht. Vom Laser 12 ausgehend durchquert der Laserstrahl den Strahlteiler 11 und gelangt über die Ablenkeinheit 10 und die kombinierte Sender-Empfängeroptik 13 in den Außenraum. Trifft der Laserstrahl auf ein spiegelndes Oberflächenelement des Meßobjekts, dessen Flächennormale mit der Richtung des Laserstrahls zusammenfällt, so wird der Laserstrahl in die Empfängereinheit zurückgespiegelt. Er gelangt über die Optik, die Umlenkeinheit und den Strahlteiler auf den Detektor 6. Aus der Messung des Zeitpunkts, zu dem der Laserstrahl zurückgespiegelt wird, kann die Position dieses senkrecht zum Laserstrahl orientierten Flächenelements bestimmt werden. Beispielsweise kann derart eine Bestimmung des Mittelpunkts eines blanken Stabes mit kreisförmigem Querschnitt erfolgen.

Die Ausdehnung von Objekten mit matter Oberfläche kann vermessen werden, sofern sich die Streueigenschaften der Objektoberfläche deutlich von den Streueigenschaften des Hintergrundes 9 unterscheiden lassen.

Überstreicht der Laserstrahl eine Objektoberfläche, deren Streueigenschaften sich im Meßfeld ändert, so kann die Ausdehnung von Zonen mit deutlich unterschiedlicher Streucharakteristik vermessen werden. Weist das Objekt beispielsweise im festen Zustand eine matte und im flüssigen Zustand eine blanke Oberfläche auf, so kann die Größe des flüssigen Bereichs aus dem Intensitätsverlauf ermittelt werden.

Die Messung des Beginns bzw. Endes eines Scans kann nach Anspruch 2 erreicht werden, indem zwei retroreflektierende Marken (Folienpunkte) in der Scanner-Empfängereinheit angeordnet werden. Die Detektion der Zeitpunkte kann mittels der Empfängerdiode erfolgen.

Kann in Abstrahlrichtung hinter dem Meßobjekt eine retroreflektierende Einheit gemäß Anspruch 3 angeordnet werden (z. B. retroreflektierende Folie 9a, verspiegelte Quaderecke 9b oder „lens-type“ Retroreflektor), so sind weitere Objekteigenschaften vermeßbar. Die

Retroreflektoreinheit reflektiert die auftreffenden Strahlen in sich bzw. in der Richtung senkrecht zur Scanebene (definiert durch die optische Achse des Laserscanners und die Bewegungsrichtung des Laserstrahls) versetzt in die Scanner-Empfängereinheit zurück. Durch besondere Ausbildungen oder Anordnungen des Retroreflektors lassen sich spezielle Arten der Vermessung realisieren. Als Beispiele seien folgende besonders ausgezeichnete Ausführungen genannt:

- wird ein Folienreflektor (9b in Fig. 2b) verwendet, so kann der Schattenwurf und aus dem Schatten die Außenkontur eines praktisch nur einseitig zugänglichen Meßobjekts bestimmt werden,
- andere Retroreflektoren (in Form zweier zueinander senkrechter Spiegel (s. 9c in Fig. 2c), Prismas oder Retroreflektoren bestehend aus einer rückseitig verspiegelten Kombination zweier sphärischer Linsen bzw. Zylinderlinsen (9d in Fig. 2d)) ermöglichen - je nach Dimensionierung der Optik und Elektronik des Scannersystems die Vermessung der maximalen bzw. mittleren Ausdehnung des Meßobjekts über die Richtung senkrecht zur Symmetrieachse des Retroreflektors.

Neben der Möglichkeit zur Ermittlung weiterer geometrischer Größen des Meßobjekts bzw. der Möglichkeit zur Vermessung schwer zugänglicher Objekte, bietet eine erfindungsgemäße Anordnung mit Retroreflektoren den Vorteil, daß nur ein Gerät verkabelt werden muß. Bei Verwendung eines Folienreflektors muß zudem keine Justage der Reflektoreinheit erfolgen.

Eine sehr genaue Bestimmung des Zeitpunkts, an dem der Laserstrahl auf das Meßobjekt trifft, kann erfolgen, indem nach Anspruch 4

- vor dem Fotodetektor eine Dunkelblende angeordnet wird und die
- Auswerteelektronik die Zeitpunkte bestimmt, an denen die auf den Detektor auftreffende Strahlung einen Maximalwert erreicht.

Diese Auswertung nutzt die Beugung der Grenzstrahlen an den Objektkanten. Sie wird durch Änderungen der Leistung des Lasers und Änderung der Intensität der Laserstrahlung im Verlauf eines Scans wenig beeinflusst. Sie ist sowohl mit einem Laserscanner mit getrennten Sender- und Empfängereinheiten (s. Fig. 3), als auch mit Laserscannern mit einer gemeinsamen Sende- Empfangseinheit realisierbar (s. Fig. 4). In letzterer ist es gegebenenfalls vorteilhaft vor der Dunkelfeldblende eine zusätzliche Linse 16 anzuordnen.

Werden telezentrische Laserscanner nach dem Stand der Technik zur Vermessung von Glasrohren benutzt, können Fehlfunktionen auftreten, da es neben den Schattenkanten am Außendurchmesser drei zusätzliche ausgezeichnete Strahlengänge gibt, bei denen Licht von der Scannereinheit in den Empfänger gelangt:

1. Rohrmitte: das Rohr wirkt dort wie eine Linse, der Mittenstrahl gelangt praktisch ungeschwächt auf den Detektor.
2. zwei Reflexionen an der Innenwand: die auf das Rohr fallende Strahlung wird beim Eintritt in das Rohr zur Rohrmitte gebrochen, an der Innenwand reflektiert und beim Austritt erneut gebrochen. An genau 2 Stellen auf dem Rohr sind die einfallenden und die austretenden Strahlen parallel zueinander, so daß die Strahlen im Empfänger detektiert werden können. Die Position dieser Stellen auf dem Rohr hängt vom Durchmesser, von der Wanddicke und vom Brechungsindex des Rohres ab.

Die Amplitude dieser Signale ist bei Anordnungen nach dem Stand der Technik gering, kann jedoch die Vermessung stören. Eine der erfindungsgemäßen Anordnungen nach Anspruch 4 führt dazu, daß die Reflexionen an der Innenwand sehr gut detektierbare Signale mit großem Störabstand liefern, aus denen die Wanddicke der Rohre berechnet werden kann. Diese Signale können sehr gut ausgewertet werden indem mit der Auswerteelektronik die Zeitpunkte bestimmt werden, an denen das Signal lokale Maxima erreicht. Eine Methode dazu ist mit der Auswerteelektronik folgende Bedingungen zu überprüfen:

1. Die Ableitung des Signals hat einen Nulldurchgang.
2. Das Signal ist größer als das Rauschen.

Werden die Zeiten, zu denen beide Bedingungen erfüllt sind gemessen, kann für Glasrohre eine relativ störunempfindliche Erfassung des Durchmessers und zweier Wanddickewerte erfolgen.

Störungen kann es bei dieser Art der Kanten- und Reflexauswertung geben, wenn die Vermessung in einer staubigen Umgebung oder in einer Umgebung mit starken Luftbewegungen oder Luftturbulenzen durchgeführt werden muß. In diesen Fällen kann mit einer Anordnung nach Anspruch 5 eine erhebliche Steigerung der Robustheit der Vermessung erreicht werden. Dazu wird der Empfängerstrahlengang mit einem Strahlteiler 17 (s. Fig. 5 und Fig. 6) derart aufgespalten, daß ein Teil der Strahlung auf eine Fotodiode

mit davor angeordneter Dunkelfeldblende gelangt, ein anderer Teil der Strahlung gelangt direkt auf eine zweite Fotodiode. Die Bestimmung der Kanten kann auf die oben beschriebene Art erfolgen. Die zusätzlich vorhandene Intensitätsmessung wird genutzt, um sicherzustellen, daß nur Signalmaxima im Bereich zwischen den Schattenkanten zur Auswertung herangezogen werden. Störungen durch Luftschlieren oder Staub im Bereich außerhalb der Schattenkanten werden eliminiert, indem die Auswertung gesperrt wird, solange oder sobald das Signal auf der zweiten Fotodiode größer als ein (gegebenenfalls einstellbarer) Schwellwert ist.

Eine äquivalente Bestimmung der Kanten- und Reflexpositionen kann durchgeführt werden, wenn gemäß Anspruch 6 anstelle einer Fotodiode ein Fotodiodenarray oder eine Fotodiodenmatrix in der Brennebene der Empfängeroptik bzw. hinter der Strahlblendenkeinheit angeordnet wird. Sie ist derart anzuordnen, daß ein Element des Arrays den Anteil der Strahlung detektiert, welcher den Außenraum ohne Wechselwirkung mit dem Meßobjekt durchquert. Das Signal dieses Elements hat einen Verlauf, wie er auch mit der zweiten Fotodiode in einer Anordnung nach Anspruch 5 detektiert wird, jedoch doppelte Amplitude (da keine Verluste an dem Strahlteiler entstehen).

Mit einer positionsempfindlichen Fotodiode (s. Anspruch 6) kann die Lage der Schattenkanten bzw. der Innenreflexe und zusätzlich der mittlere Differenzwinkel der Oberflächen eines teiltransparenten Meßobjekts gegen die Scanrichtung und die Scanebene vermessen werden. Die zusätzliche Vermessung nutzt den Effekt, daß der Winkel der Oberflächelemente zu einer Ablenkung des transmittierten Strahls führt, der als Höhenversatz in der Brennebene detektiert werden kann.

Eine positionsempfindliche Fotodiode erlaubt ferner die gleichzeitige Bestimmung des Reflexes an der Objektoberfläche und des Kippwinkels des Objekts gegen die Scanebene. Dazu wird sie als Sensor in einem Empfänger eingesetzt, der gemäß Anspruch 7 unter einem Winkel ungleich 0° oder 180° zur optischen Achse des Scanners angeordnet ist.

Werden zwei Empfänger auf gegenüberliegenden Seiten des Meßobjekts unter einem Winkel gegen die Scanrichtung angeordnet, so können Meßobjekte vermessen werden, deren Ausdehnung größer als die Breite des abgescannten Bereiches ist. Werden die Empfänger beispielsweise unter $\pm 90^\circ$ zur Strahlrichtung angeordnet, erhält man bei

Objekten mit kreisförmigem Querschnitt eine Verkleinerung um den Faktor $2^{0.5}$. Das bedeutet Objekte mit einer Ausdehnung bis zum 1,4-fachen des abgescantten Bereichs können noch vermessen werden.

Äquivalent dazu ist die Anordnung mehrerer (zusätzlicher) Retroreflektoreinheiten an entsprechenden Stellen, sofern eine kombinierte Sende-Empfangseinheit verwendet wird (s. Fig. 7).

Durch Wahl des Winkels der Empfänger bzw. Retroreflektoreinheit(en) gegen die Scanrichtung kann der Maßstab der Verkleinerung in weiten Grenzen variiert werden.

Werden zur Vermessung mehrere Retroreflektoren eingesetzt und beispielsweise unter 180° , unter $+90^\circ$ und -90° zur Scannereinheit angeordnet, erhält man den Mittelpunkt und mehrere Punkte auf dem Umfang des Meßobjekts (s. Fig. 7). Daraus kann beispielsweise die Abweichung der Form des Meßobjekts von der Idealform vermessen werden. Beispielsweise kann der vermessene Objektquerschnitt durch eine Ellipse beschrieben werden. Aus den Parametern der Ellipse kann die Abweichung des Querschnitts von einer idealen Kreisform ermittelt werden.

Wird eine derartige Anordnung mit einem Scanner aufgebaut, der eine konvergente oder divergente Abstrahlrichtung aufweist, können aus den Grenzstrahlen (Schattenkanten) 2 Tangenten an das Meßobjekt bestimmt werden. Zusätzliche Punkte auf der Objektoberfläche erhält man durch Auswertung der retroreflektierten Strahlen. Aus diesen Meßgrößen kann der Durchmesser und die Lage des Meßobjekts in der Scanebene bestimmt werden.

Weitere Vorteile bietet diese Anordnung bei der Vermessung transparenter Rohre. Der Abstand zwischen den an der Außenwand und an der Innenwand reflektierten Strahlen ist bei dieser Anordnung erheblich größer als bei der 180° Anordnung. Sie ermöglicht daher eine Verbesserung der Meßgenauigkeit bzw. die Vermessung dünnwandiger Rohre.

Weitere geometrische Kenngrößen des Meßobjekts werden der Messung zugänglich, sofern nach Anspruch 8 der Laserstrahl mit optischen Mitteln (wie z.B. einem parallel zur Scanrichtung angeordneten Gitter) senkrecht zur Scanebene aufgespalten wird. Im Falle der Verwendung separater Empfänger wird für jede Scanlinie ein eigener Empfänger vorgesehen. Wird eine kombinierte Scanner/ Empfängerseinheit eingesetzt, wird vorzugsweise vor dem Strahlteiler für die Aufteilung zwischen Sende- und Empfangsstrahlengang ein Gitter angeordnet und mittels des Gitters aufgespalten. Im Empfängerstrahlengang befinden

sich dann im Brennpunkt der Optik pro auszuwertendem Strahlengang je eine Fotodiode bzw. ein Element eines Fotodiodenarrays. Durch die Aufspaltung des Scanstrahlengangs in mehrere Partialstrahlengänge kann der Verlauf der Objektgeometrie über die Ebene senkrecht zur Scanebene ermittelt werden. Damit kann beispielsweise ein konischer Verlauf der Objektkontur oder eine Krümmung des Meßobjekts sicher erfaßt werden.

Ein größerer Winkel zwischen den Partialstrahlengängen kann gegebenenfalls durch Verwendung einer Zylinderoptik im Sendestrahlgang erreicht werden.

Eine Erweiterung des Meßverfahrens wird durch ein optisches Bauelement zur Aufspaltung eines Laserstrahls in mehrere, in der Scanebene liegende, Teilstrahlengänge (s. Anspruch 9, beispielsweise ein Gitter, dessen Linien senkrecht zur Scanebene verlaufen) ermöglicht.

Wird das Element im Bereich zwischen dem Laser und dem Brennpunkt der Scanneroptik angeordnet, treffen mehrere Strahlen auf die Ablenkeinheit in der Brennebene der Senderoptik. Dadurch emittiert die Scannereinheit mehrere Strahlenbündel. Sie liegen in der Scanebene (der Ebene, welche durch die Scanrichtung und die optische Achse definiert ist), weisen aber einen (ggf. mit dem Ort variierenden) Winkel zur Scanrichtung auf. Diese Strahlen werden am Meßobjekt abgeschattet, gebeugt oder reflektiert und können in der Empfängeroptik in der Brennebene in einem definierten Abstand zum Brennpunkt detektiert werden. Dazu muß dort pro Teilstrahlengang ein Fotodetektor oder ein Element eines Detektorarrays vorgesehen werden. Über eine Auswertung der Schattenkanten bzw. der Reflexions- oder Beugungspeaks des entsprechenden zeitlichen Intensitätsverlaufs kann die Lage des Objekts in der ausgeleuchteten Ebene vermessen werden.

Die Anordnung polarisierender Strahlteiler im Strahlengang (gemäß Anspruch 10) ermöglicht die Erfassung des Polarisationszustands der detektierten Strahlung. Damit können Objekteigenschaften vermessen werden, welche die Polarisationszustände der transmittierten Strahlen unterschiedlich beeinflussen. Neben dem Strahlteiler ist zusätzlich jeweils ein Detektorelement pro zu erfassender Meßgröße im Empfängerstrahlengang anzuordnen. Aus den Unterschieden der Intensitäten kann die zu erfassende Objektkenngroße bestimmt werden.

Für doppelbrechende oder optisch aktive Folien kann beispielsweise die optische Weglänge und damit die Schichtdicke oder das Drehvermögen in Richtung der optischen Achse ermittelt werden. Dazu wird ein Scanner mit einem zirkular polarisierten Laserstrahl

verwendet und ein polarisierender Strahlteiler im Sender- oder Empfängerstrahlengang, sowie für jeden Teilstrahlengang ein Fotodetektor(element) im Empfänger angeordnet.

Weitere zusätzliche, die Polarisation der transmittierten Strahlung beeinflussende Kenngrößen des Objekts sind meßbar, sofern sowohl im Sende- als auch im Empfängerstrahlengang eine Aufspaltung der unterschiedlich polarisierten Strahlungskomponenten erfolgt.

Werden zusätzlich zu dieser Aufspaltung (nach Anspruch 11) ein oder mehrere wellenlängenselektive Filter in den Empfängerstrahlengang eingebracht, so kann für Substanzen (z.B. PET), die intrinsische polarisierte Fluoreszenz aufweisen, eine gleichzeitige Vermessung folgender Kenngrößen erfolgen:

1. Objektposition und Ausdehnung in Scanrichtung,
2. Verlauf des 1. Moments der Orientierungsverteilungsfunktion,
3. Verlauf des 2. Moments der Orientierungsverteilungsfunktion.

Bei PET tritt die intrinsische polarisierte Fluoreszenz selektiv in den nichtkristallinen Bereichen auf. Diese sind für die mechanischen Eigenschaften und die Anfärbbarkeit des Objekts entscheidend. Mit der beschriebenen Anordnung kann - über eine Vermessung der Momente der Orientierungsverteilungsfunktion - selektiv der Verlauf dieser Größen im Material erfaßt werden.

Weitere Kenngrößen des Meßobjekts lassen sich ermitteln, sofern nach Anspruch 12 in der Empfängereinheit zwei Strahlengänge (der vom Objekt kommende Strahlengang und ein Referenzstrahlengang oder ein den Objektraum durchquerender bzw. vom Objekt kommender, gegebenenfalls modulierter, zweiter Strahlengang) so überlagert werden, daß die Strahlen interferieren. Je nach Ausbildung dieses Strahlengangs und Signalauswertung kann dann, zusätzlich zur Ermittlung der oben beschriebenen Kenngrößen, der Abstand oder die Kontur eines Meßobjekts in Richtung der optischen Achse bzw. die Geschwindigkeit der Bewegung des Meßobjekts durch die Scanebene erfaßt werden. Bei Nutzung des Retroreflektorprinzips kann der Referenzstrahlengang beispielsweise in Form eines Michelson-Interferometers im Inneren der kombinierten Sende-Empfängereinheit aufgebaut werden. Im Falle der Verwendung einer separaten Empfängereinheit kann der

Referenzstrahlengang (am Meßobjekt vorbei) durch den Objektraum oder mittels Lichtleiter vom Scanner zum Empfänger geführt werden.

Die aufgeführten Meßarten sind untereinander nahezu beliebig kombinierbar. Besonders vorteilhaft kann dies mit einem modularen System realisiert werden, das aus einem Scannerkopf, einem Meßmodul und gegebenenfalls einem Empfängergehäuse mit Optik besteht. Die Scannereinheit 1 besteht aus

- einem Laser (12),
- einer Ablenkeinheit (10) und
- einer Optik 19,

sowie gegebenenfalls (bei Vermessung der Reflexion bzw. Rückstreuung oder Nutzung einer Retroreflektoreinheit) den zusätzlichen Komponenten:

- Empfängermodul (20)
- Scanstart- und Scanstopreflektor (14).

Das Empfängermodul weist Montagemöglichkeiten für Detektormodule (s. schematische Darstellung in Fig. 11b), Linsen oder Spiegel (Positionen A bis H in Fig. 11a) und Strahlteiler auf (s. Positionen St1 bis St3 in Fig. 11a). Je nach Bestückung des Empfängermoduls und der gewählten Anordnung lassen sich unterschiedliche Kombinationen verschiedener Meßgrößen ableiten. Einige Beispiele dafür sind in Tabelle 1 angegeben:

Modus	Empfänger	Objekt	Meßgrößen	Bauelement	Position
1	separat 180°	Glasrohr	Durchmesser, Wanddicke, Mittenposition	Fotodiodenarray D2	A
2	kombiniert	Glasrohr	Durchmesser, Wanddicke, Mittenposition	Strahlteiler 50% Fotodiodenarray D2	St1 C
3	separat 180°	transparente Fasern	Position Durchmesser, Polarisationsgrad	Strahlteiler polarisierend Ringfotodiode D4 Fotodiode D1	St1 B C
4	kombiniert	transparente Fasern	Position Durchmesser,	Strahlteiler 50% Strahlteiler polarisierend	St1 St2

			Polarisationsgrad	Ringfotodiode D4	B
				Fotodiode D1	C
5	kombiniert	optisch aktive Schichten	Ausdehnung,	Strahlteiler 50%	St1
			Schichtdicke	Strahlteiler polarisierend	St2
				Fotodiodenarray D2	B
				Fotodiode 1	C
6	kombiniert	Stäbe, Rohre	Durchmesser,	Gitter parallel Scan-richtung	H
			Konizität,	Linse	B
			Durchbiegung	Strahlteiler 50%	St1
				Linse	C
				Strahlteiler 50%	St2
				Fotodiodenarray D2	D
				Fotodiodenarray D3	E
7	kombiniert	Stäbe, Rohre	Durchmesser,	Kreuzgitter	H
			Lage in der	Strahlteiler	
			Scanebene	Linse	St3
			Konizität,	Strahlteiler 50%	B
			Durchbiegung,	Linse	St1
			Geschwindigkeit	Strahlteiler 50%	C
				Fotodiodenarray D2	St2
				Fotodiodenarray D3	D
				Fotodiode D1	E
				(aktiver) Spiegel	F
					G

Tabelle 1: Beispiele für unterschiedliche Konfigurationen eines erfindungsgemäßen Laserscanner-Meßsystems

Erfindungsgemäße Laserscanner lassen sich gemäß Anspruch 13 besonders vorteilhaft zur Regelung von Produktionsprozessen nutzen, indem sie relevante Prozeßgrößen erfassen, die einer Prozeßsteuerung oder Regelung als Eingangssignale zugeführt werden.

Ansprüche

1. Laserscanner-Meßsystem bestehend aus einer Sendereinheit mit Laser, Strahlablenkeinheit, und einer Senderoptik sowie

einem Empfängerteil mit einem Fotodetektor, der in der Brennebene der Optik angeordnet ist, die für den Empfangsstrahlengang ist,

dadurch gekennzeichnet,

- daß Scannereinheit und Empfängereinheit auf der gleichen Seite relativ zum Objekt angeordnet sind und
- die Flächennormale der Empfängeroptik zu der Abstrahlrichtung der Scannereinheit parallel ist, das heißt daß Scanner- und Empfängerstrahlengang im Außenraum zu jedem Zeitpunkt die gleiche optische Achse aufweisen, oder die Achsen zueinander und senkrecht zur Bewegungsrichtung des Laserstrahls parallel verschoben sind.

2. Laserscanner-Meßsystem nach Anspruch 1

dadurch gekennzeichnet

daß im Inneren der Scannereinheit, im Bereich zwischen der Strahlablenkung und dem Strahlaustritt, mindestens ein Retroreflektor oder eine retroreflektierende Marke angeordnet ist.

3. Laserscanner-Meßsystem nach Anspruch 1 oder 2

dadurch gekennzeichnet,

daß sich von der Scannereinheit aus gesehen hinter dem Meßobjekt eine Retroreflektoreinheit befindet, welche die auffallende Strahlung in sich oder mit einem Parallelversatz zurückspiegelt, so daß der auf die Scanner- Empfängereinheit zurückreflektierte Strahlengang in einer Ebene liegt, die parallel zu der Ebene versetzt ist,

welche durch die Scanrichtung (die Richtung in welcher der Laserstrahl durch das Meßfeld bewegt wird) und die optische Achse gegeben ist.

4. Laserscanner-Meßsystem nach dem Oberbegriff des Anspruchs 1 oder den Ansprüchen 1 bis 3

dadurch gekennzeichnet,

daß im Empfängerstrahlengang im Brennpunkt der Empfängeroptik eine Dunkelfeldblende angeordnet ist, hinter der sich der Fotodetektor befindet und die Lage der Schattenkanten aus dem Zeitpunkt ermittelt wird, an dem die Fotodiode maximale Intensität detektiert.

5. Laserscanner-Meßsystem nach Anspruch 4

dadurch gekennzeichnet,

daß der Strahlengang in der Empfängeroptik mittels eines Strahlteilers, der vor der Dunkelfeldblende angeordnet ist, aufgespalten wird und im zweiten Teilstrahlengang eine Fotodiode annähernd im Brennpunkt der Empfängeroptik angeordnet ist.

6. Laserscanner-Meßsystem nach dem Oberbegriff des Anspruchs 1 oder einem der Ansprüche 1 bis 5

dadurch gekennzeichnet, daß

als Fotodetektor ein Fotodiodenarray (Fotodiodenzeile, Fotodiodenmatrix oder Ringdetektor) oder eine positionsauflösende Fotodiode verwendet wird.

7. Laserscanner-Meßsystem nach den Ansprüchen 1 bis 6

dadurch gekennzeichnet,

daß ein oder mehrere Empfängereinheiten oder Retroreflektoren unter einem Winkel ungleich 0° oder 180° zur optischen Achse der Scannereinheit in der Scanebene angeordnet sind.

8. Laserscanner-Meßsystem nach den Anprüchen 1 bis 7

dadurch gekennzeichnet,

daß im Scannerstrahlengang eine Optik zur Aufspaltung des Scanstrahles in der Richtung senkrecht zur Scanrichtung (z.B. ein Gitter dessen Linien senkrecht zur Scanrichtung ausgerichtet sind) angeordnet ist.

9. Laserscanner-Meßsystem nach den Anprüchen 1 bis 8

dadurch gekennzeichnet,

daß im Scannerstrahlengang eine Optik zur Aufspaltung des Scanstrahles in der Richtung parallel zur Scanrichtung (z.B. ein Gitter dessen Linien parallel zur Scanrichtung ausgerichtet sind) angeordnet ist.

10. Laserscanner-Meßsystem nach den Anprüchen 1 bis 9

dadurch gekennzeichnet,

daß im Beleuchtungsstrahlengang und / oder im Empfängerstrahlengang optische Elemente zur Aufspaltung des Strahlengangs für unterschiedlich polarisierte Strahlung (zum Beispiel polarisierender Strahlteiler, Wollastonprisma, Verzögerungsplatte und Glan-Thomson-Prisma) angeordnet ist.

11. Laserscanner-Meßsystem nach den Ansprüchen 1 bis 10

dadurch gekennzeichnet,

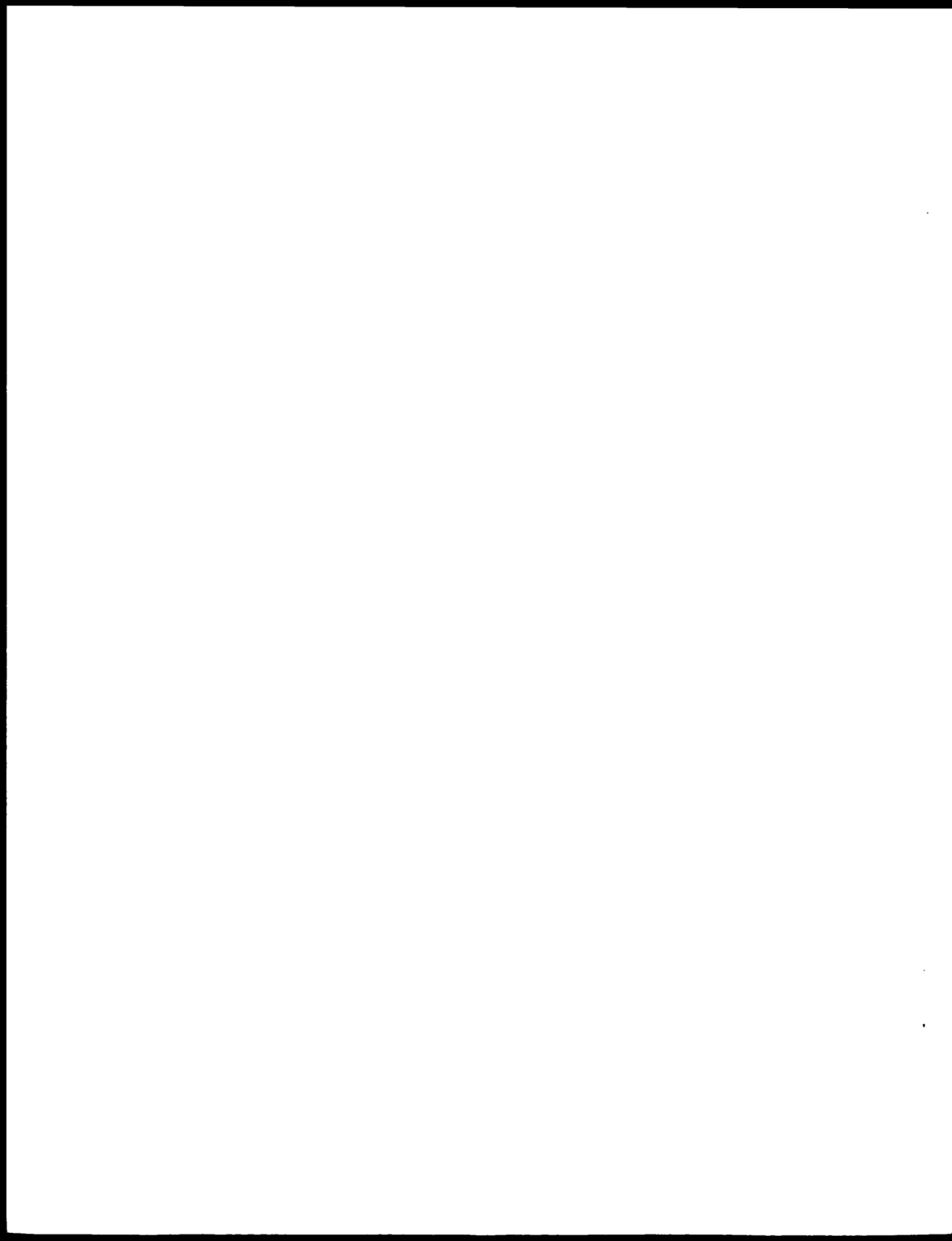
daß im Empfängerstrahlengang wellenlängensensitive Filter (Interferenzfilter, Farbfilter oder Kantenfilter) angeordnet sind.

12. Laserscanner-Meßsystem nach den Ansprüchen 1 bis 11

dadurch gekennzeichnet,

daß in der kombinierten Scanner-Empfängereinheit, im Außenraum oder mittels eines Lichtwellenleiters ein Referenzstrahlengang realisiert ist, der dem vom Meßobjekt kommenden Strahlengang derart überlagert wird, daß das resultierende, sich örtlich und zeitlich, ändernde Interferenzmuster mit mindestens einem Detektorelement detektiert wird.

13. Laserscanner-Meßsystem nach den Ansprüchen 1 bis 12 zur Verwendung zur Regelung eines Produktionsprozesses



Zeichnungen

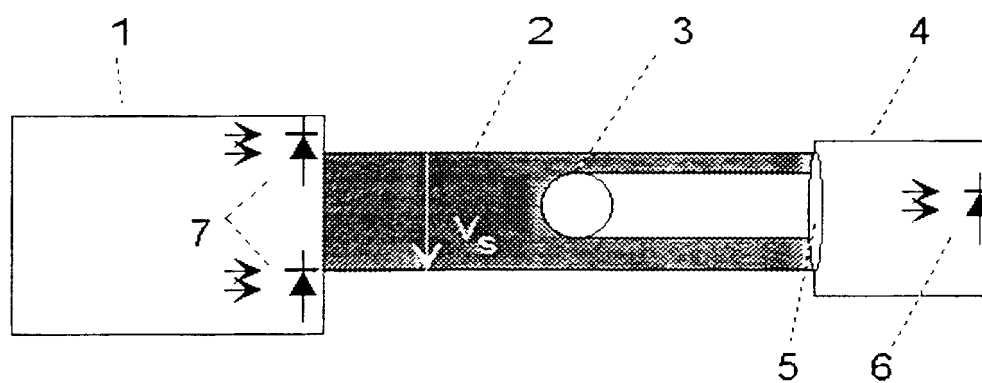
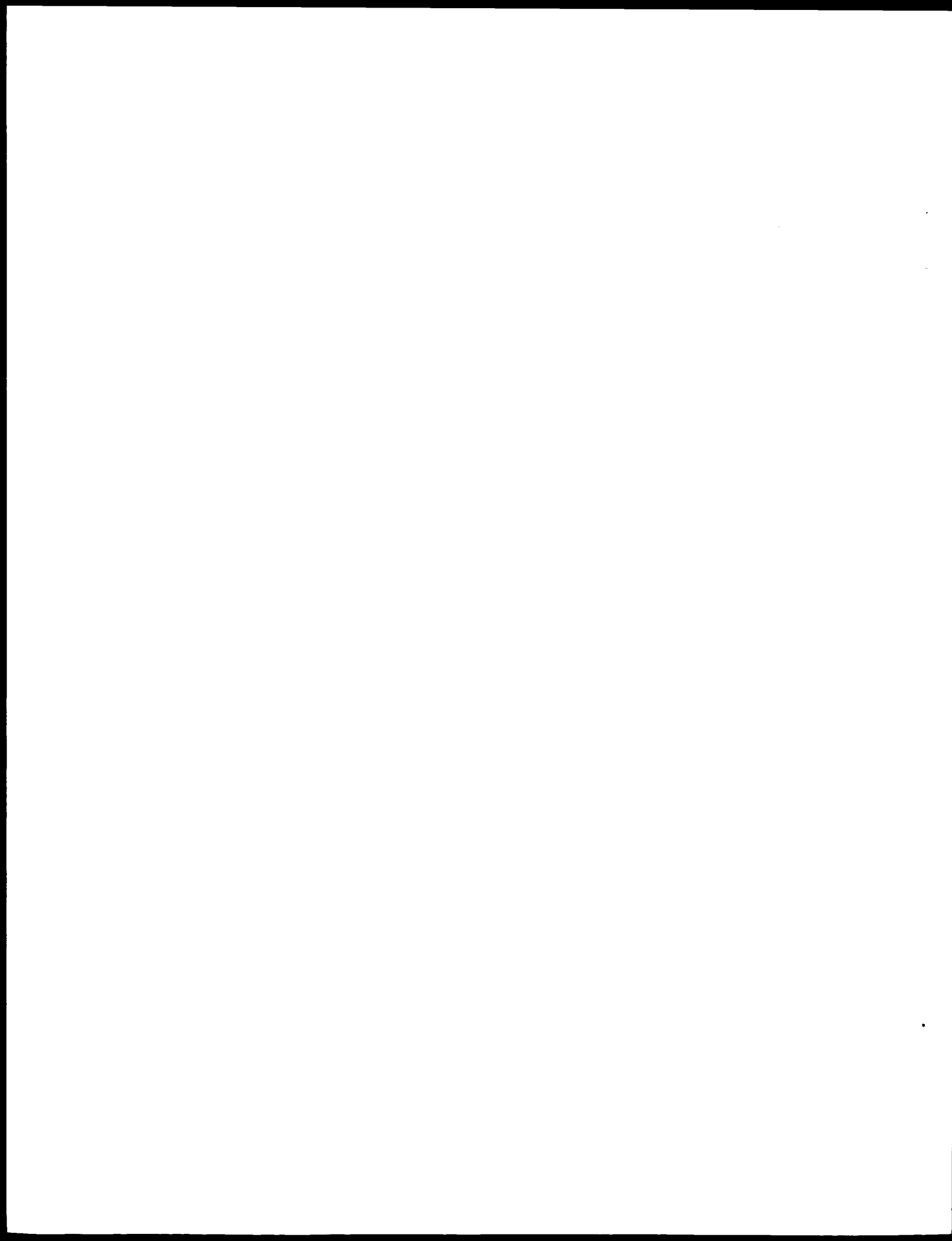


Fig. 1



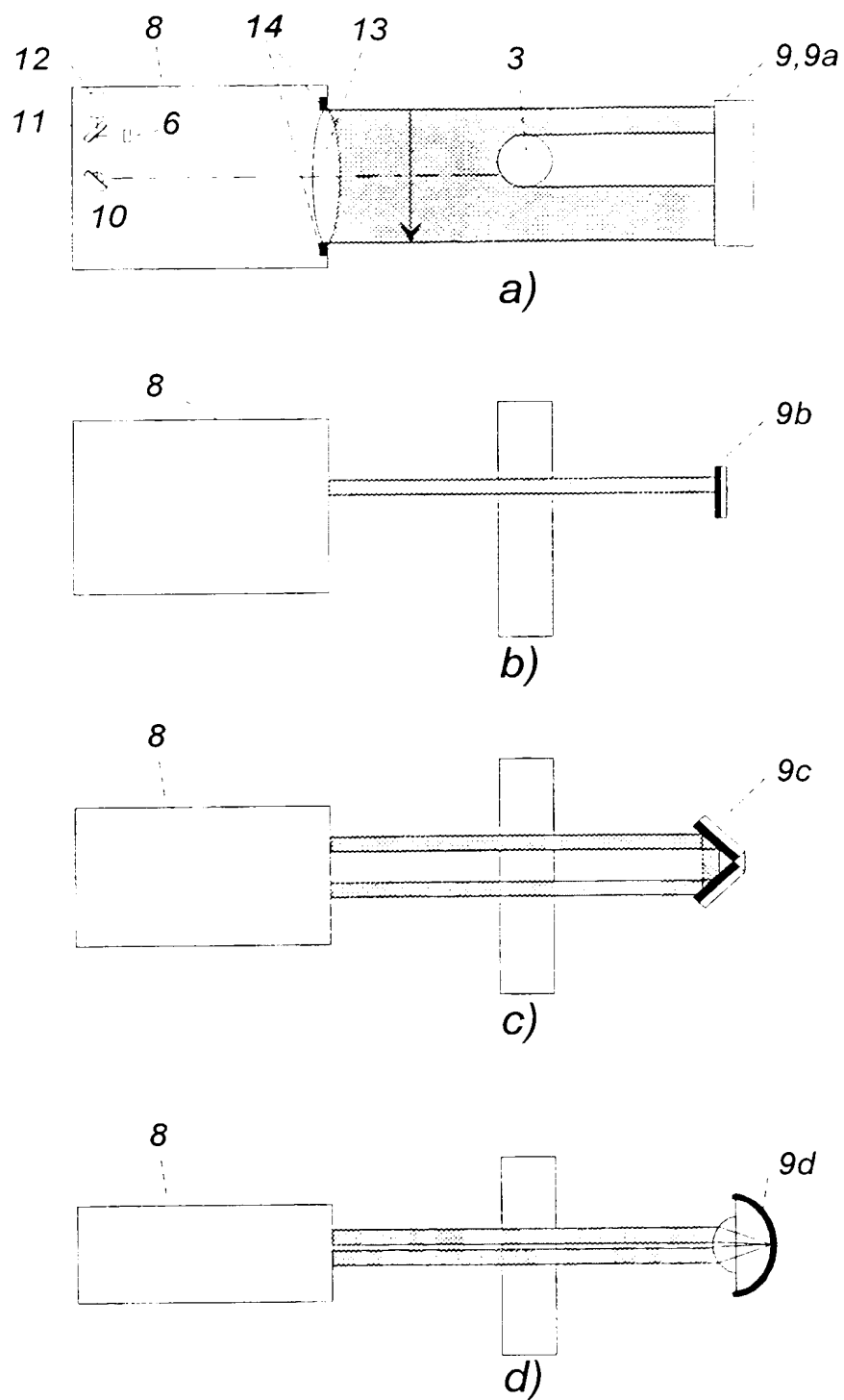
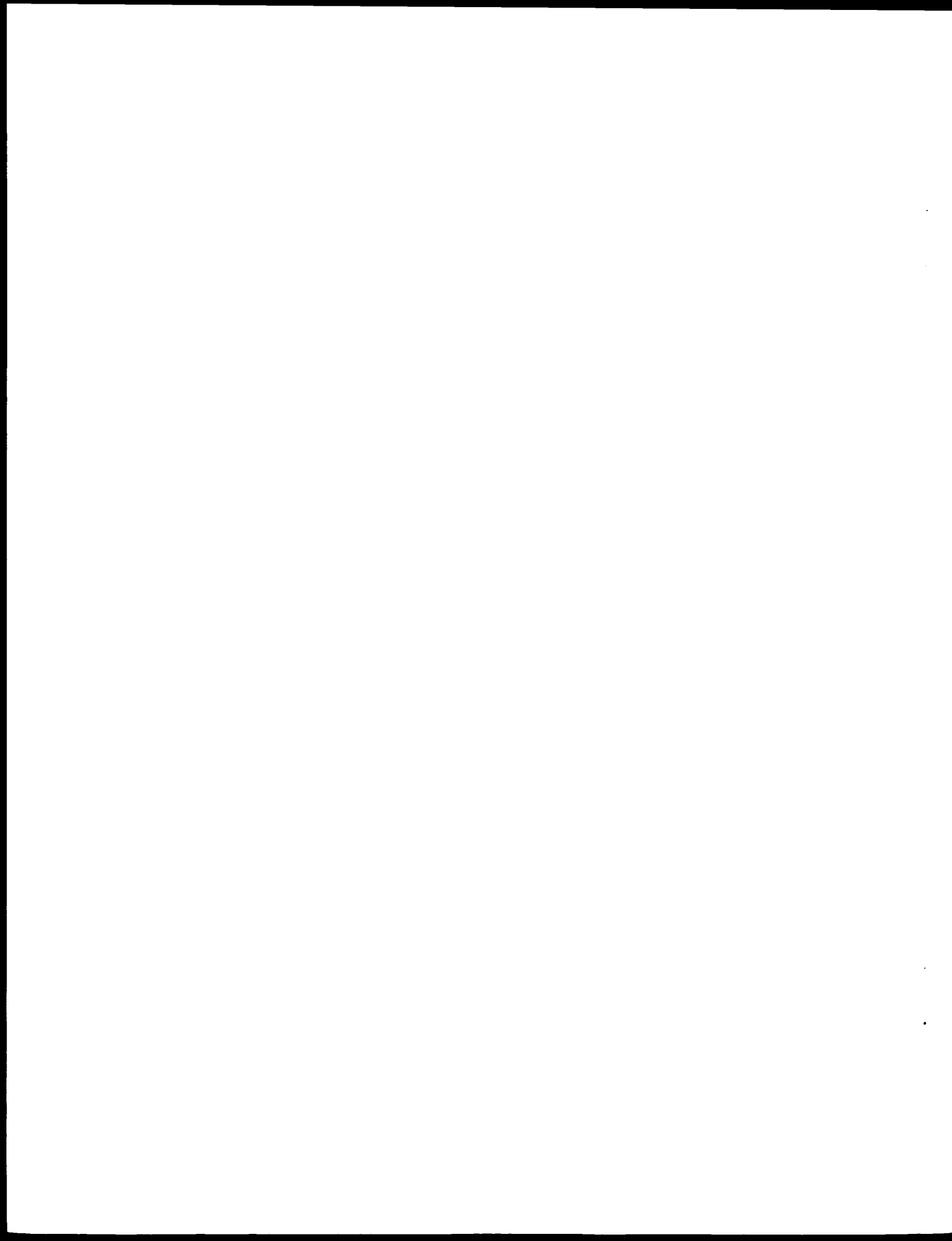


Fig. 2



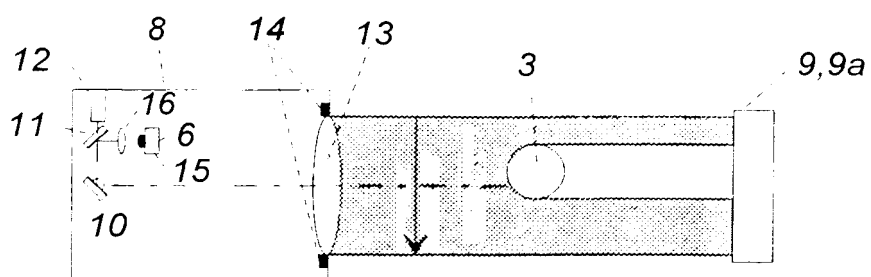


Fig. 3

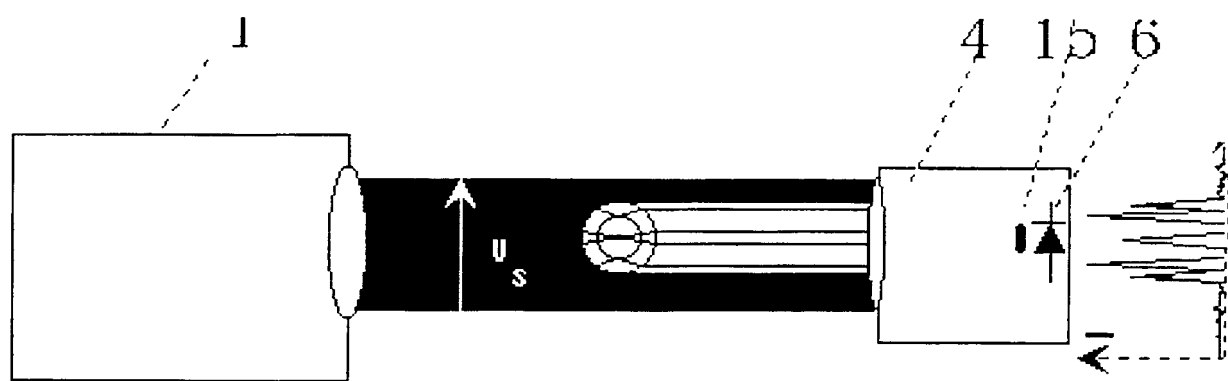


Fig. 4

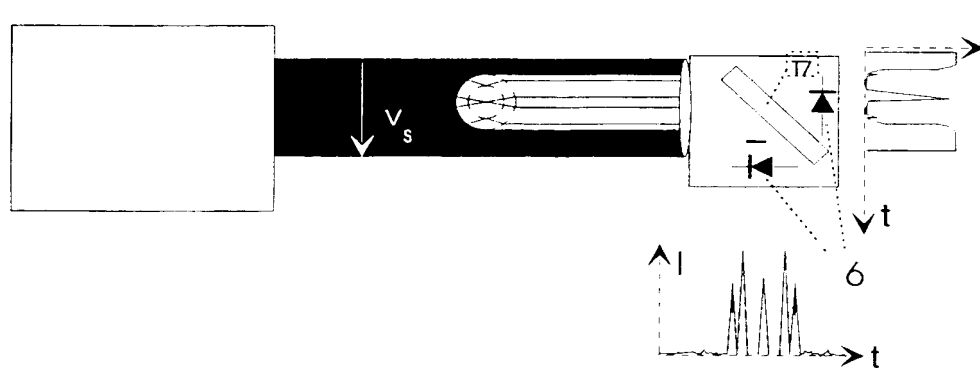
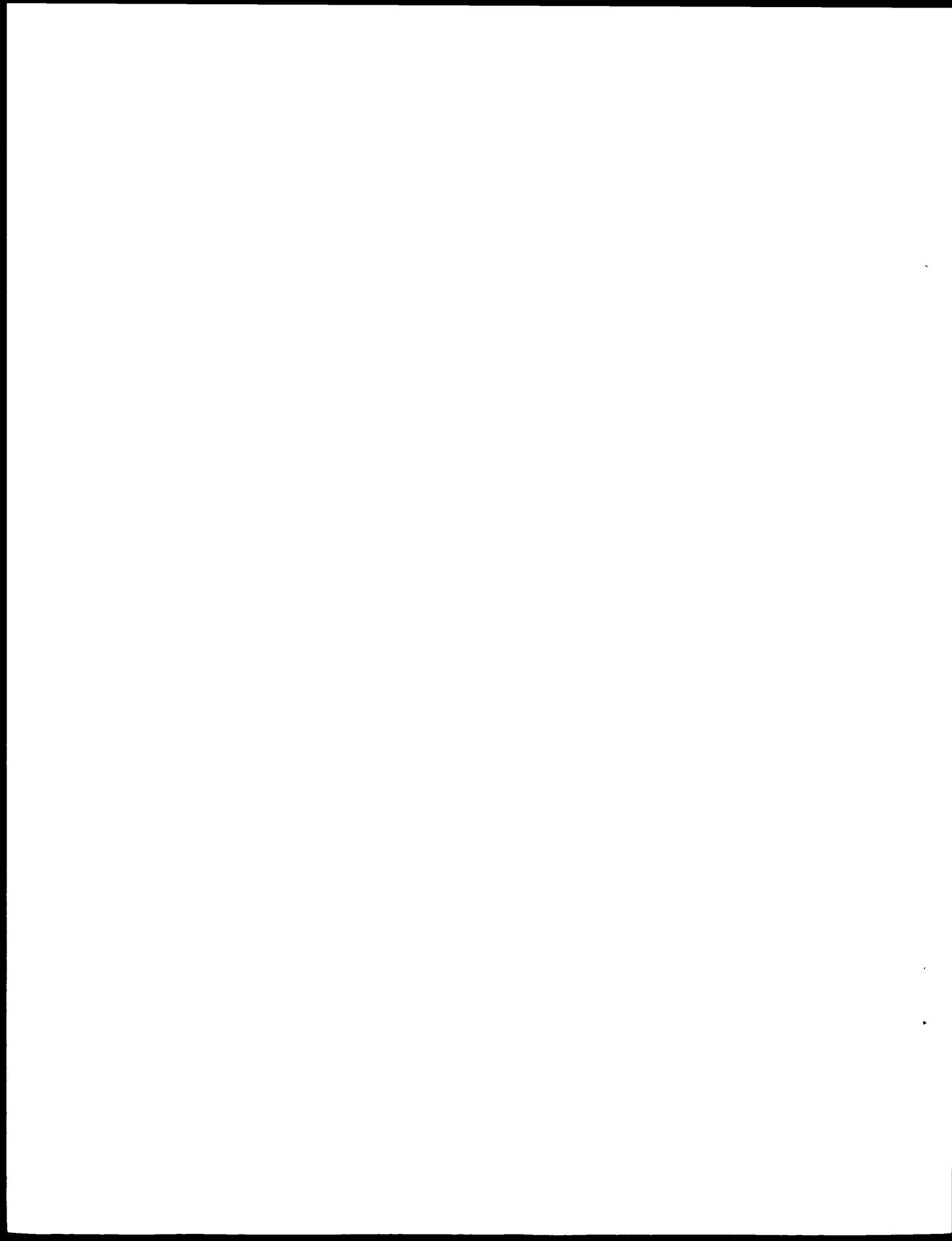


Fig. 5



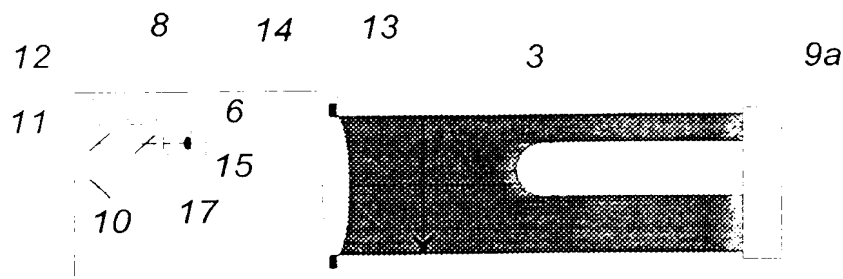


Fig. 6

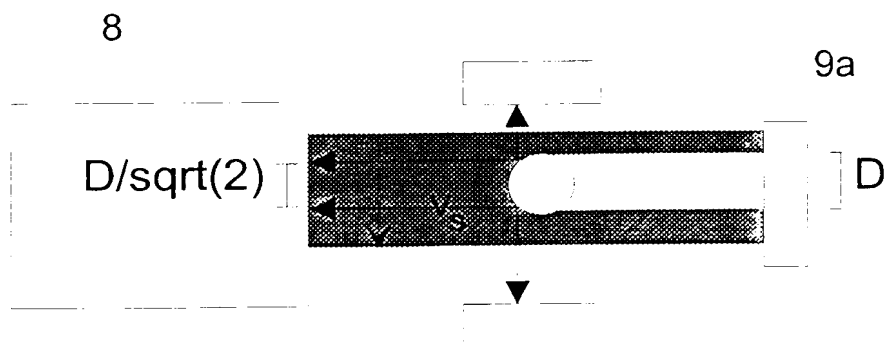
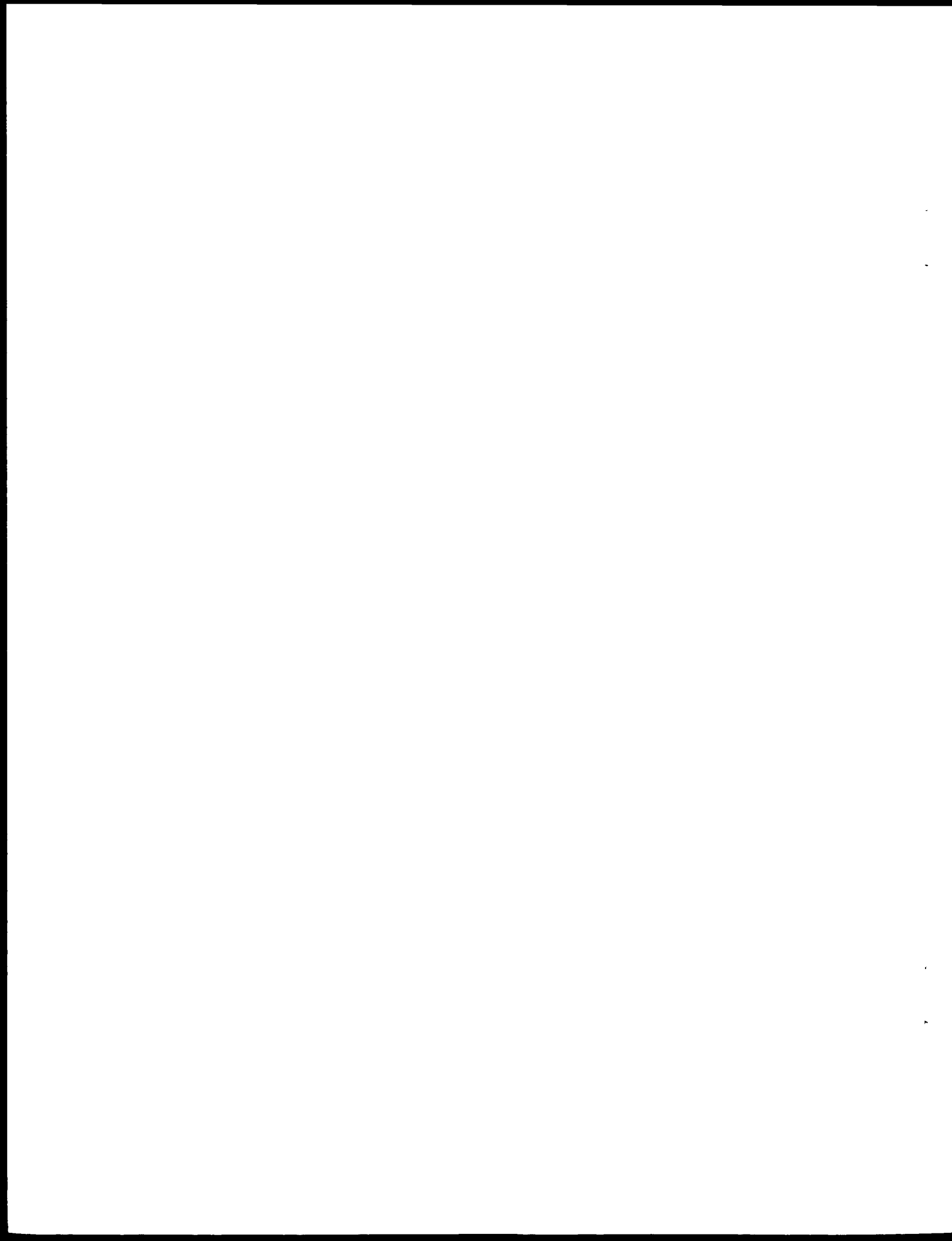


Fig. 7



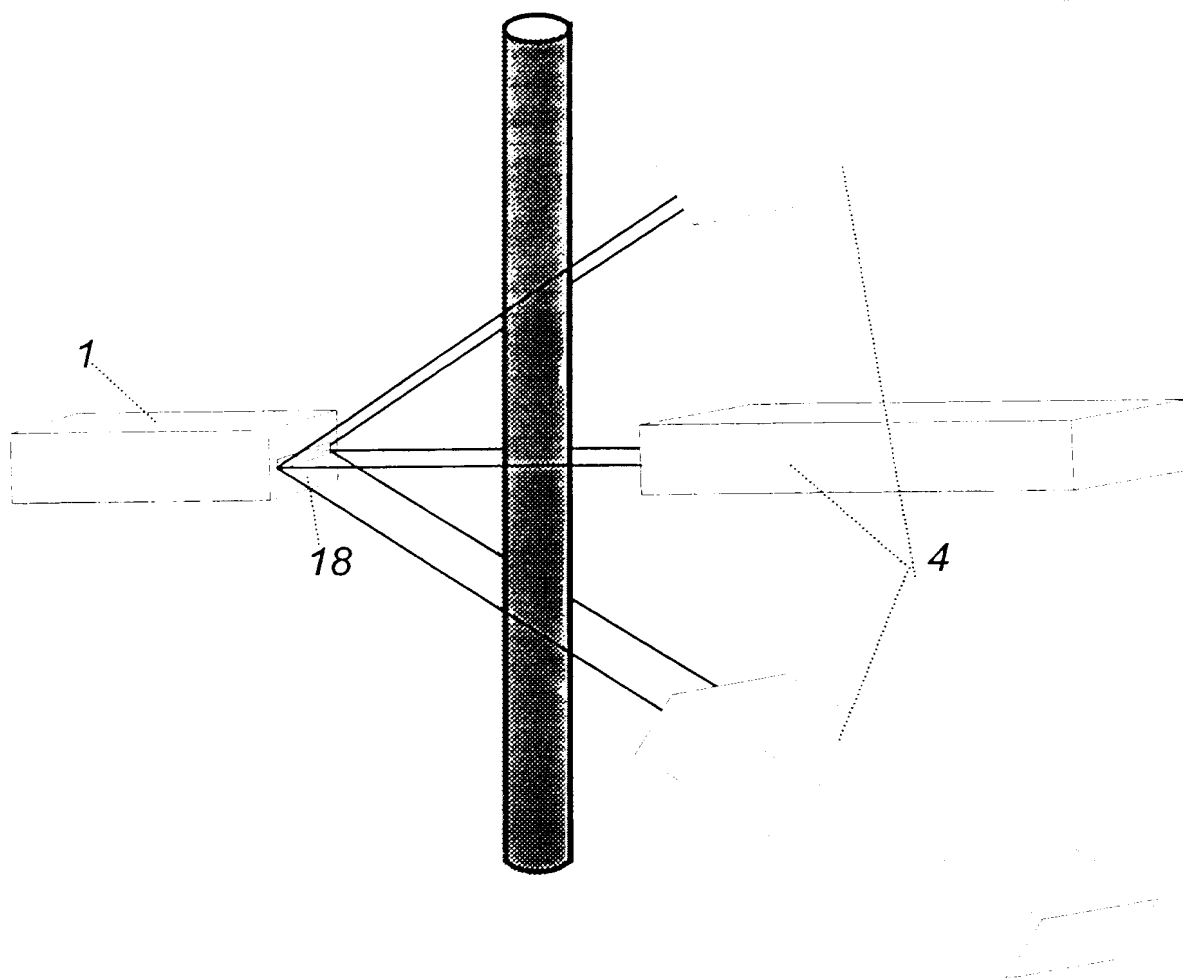
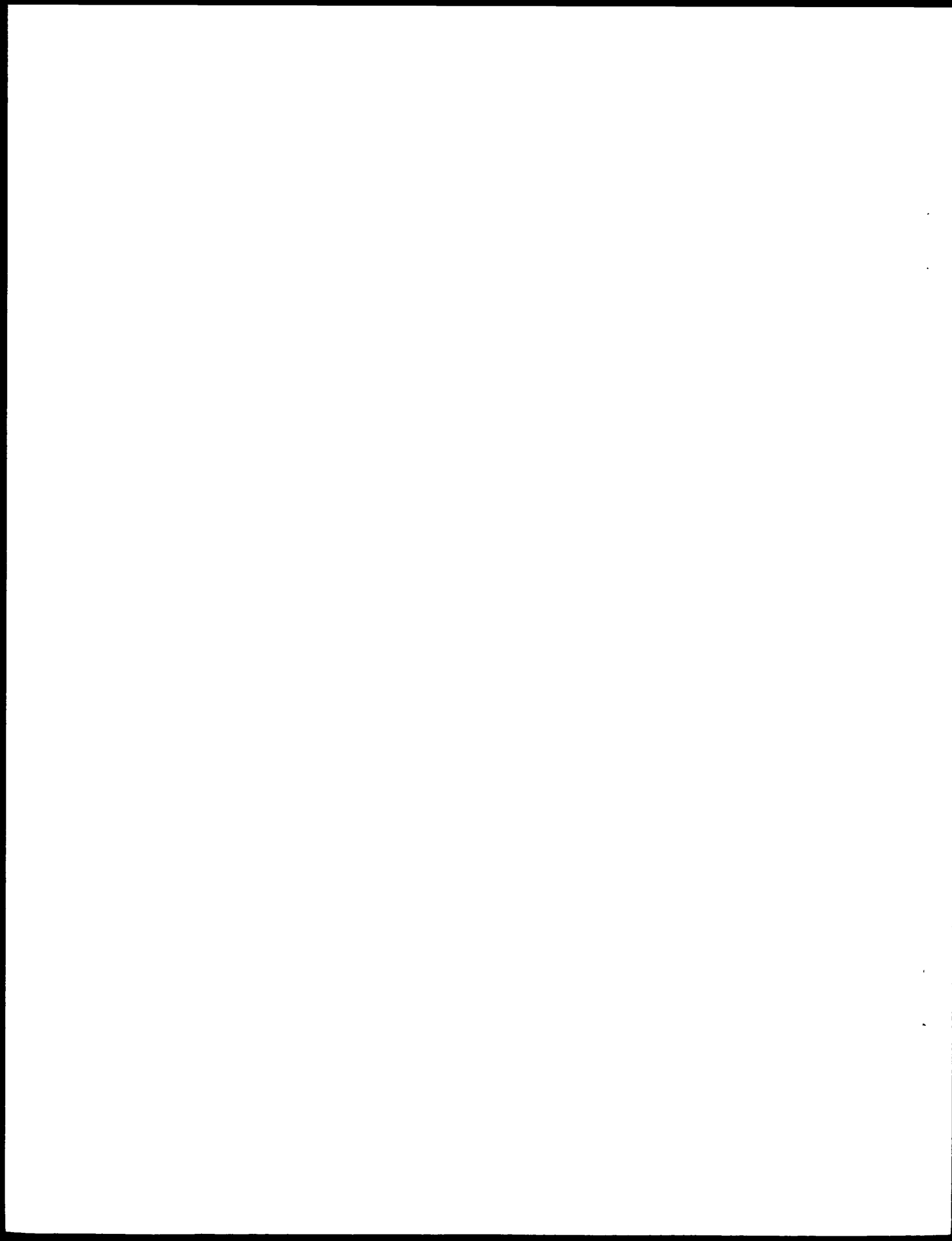


Fig. 8



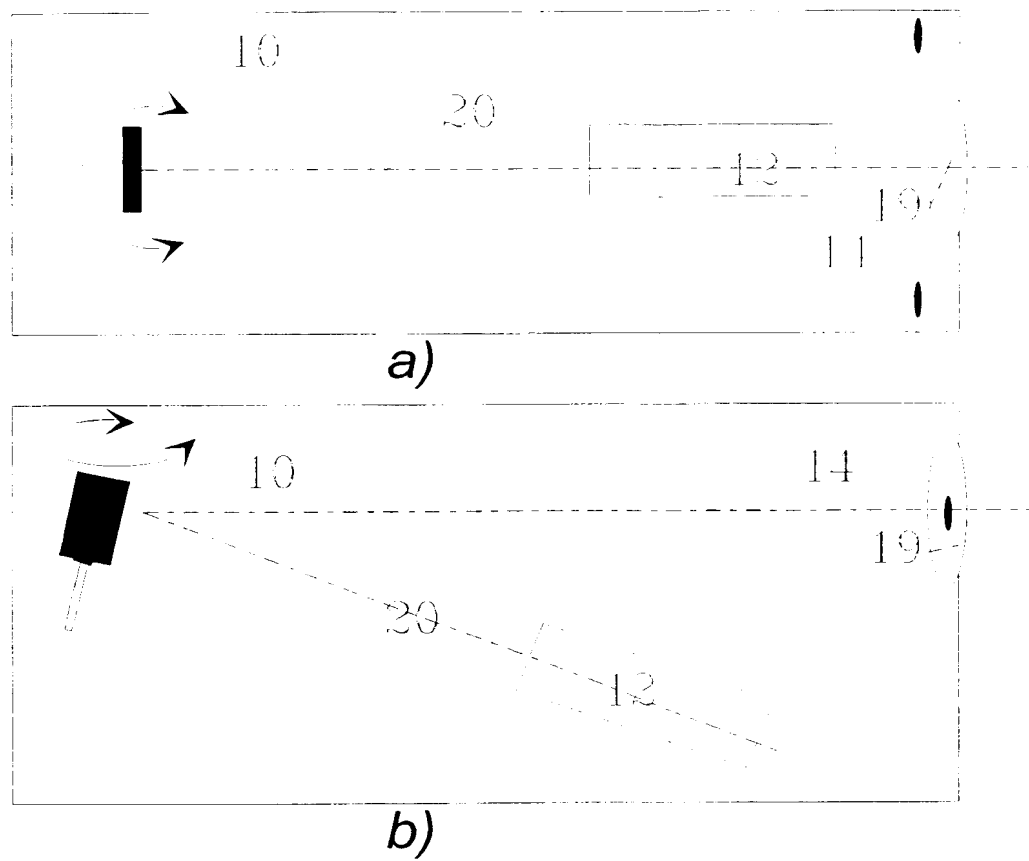
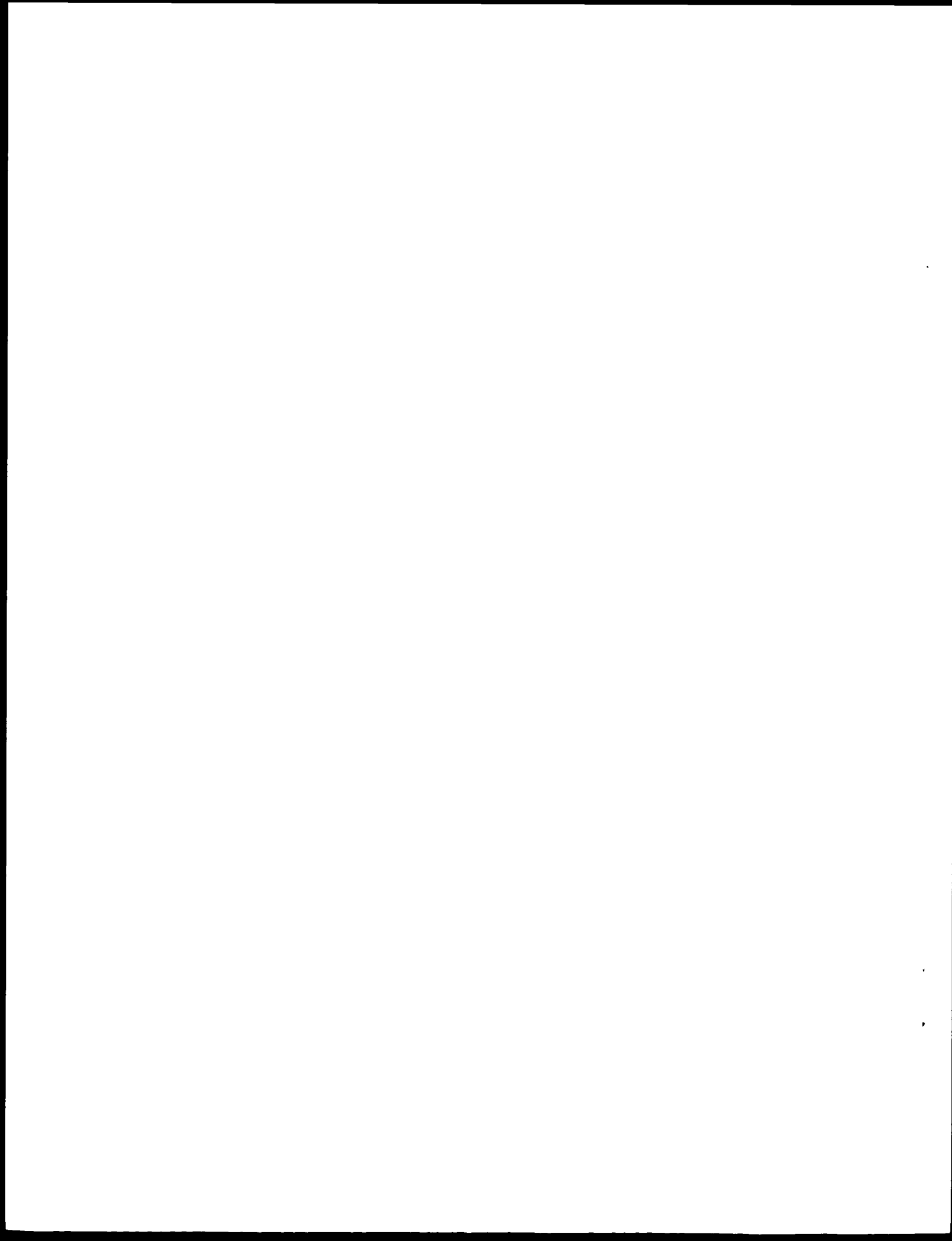
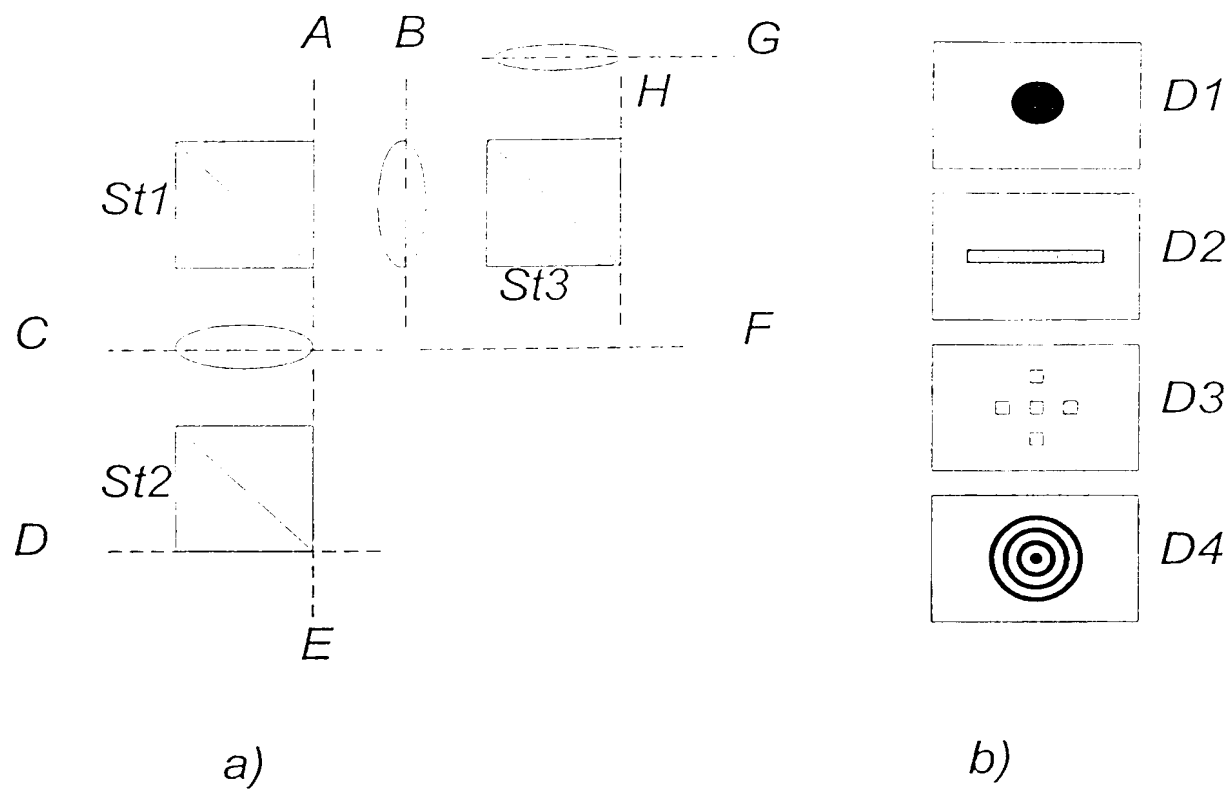
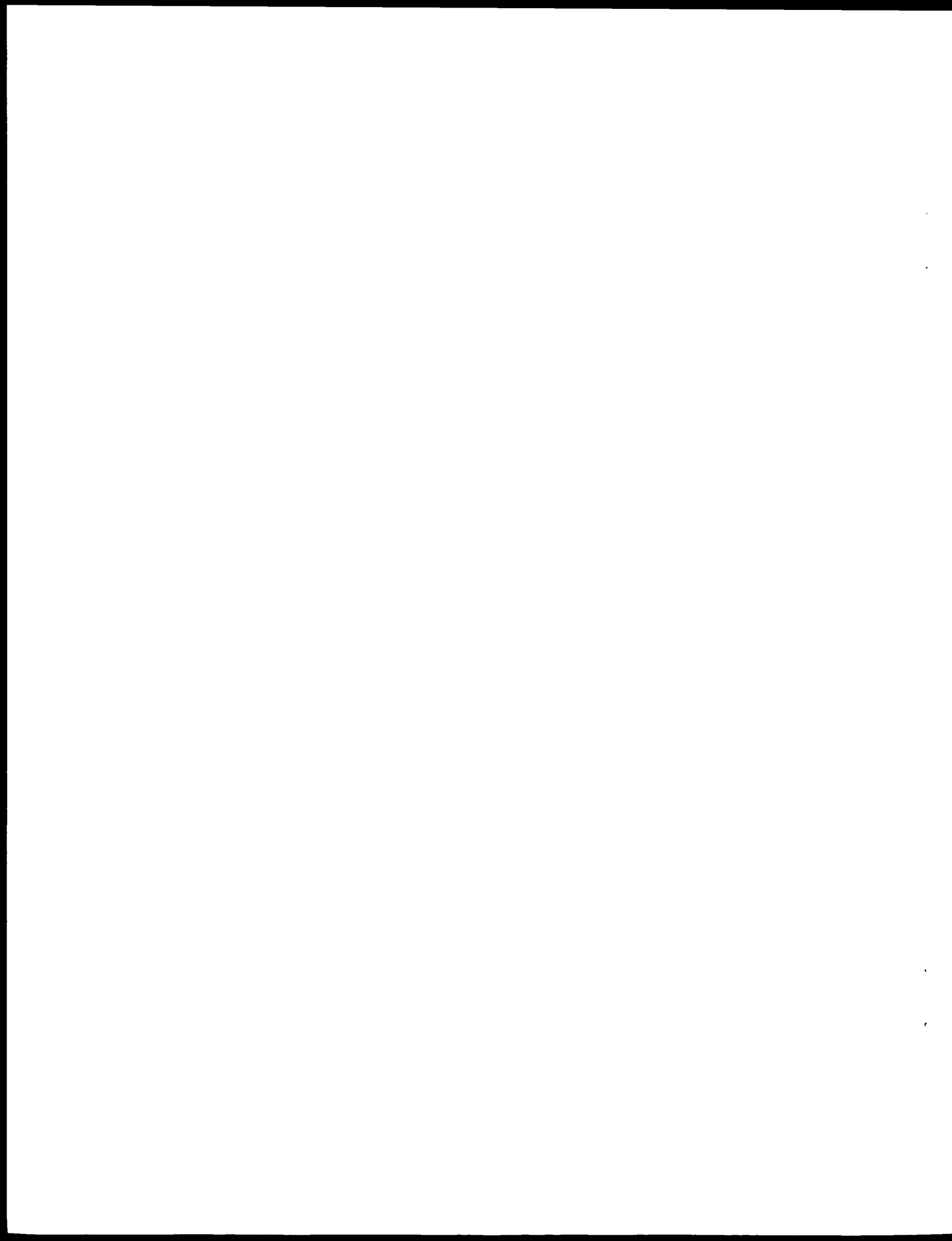


Fig. 9







INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No

PCT/EP 99/00903

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

IPC 6 G01B11/10 G01B11/02 G01S7/481

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

IPC 6 G01B G01S

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	US 4 201 476 A (LERNER HAROLD ET AL) 6 May 1980	1,3,6, 11,13
Y	see column 1, line 36 - line 47	4,8-10, 12
A	see column 2, line 58 - column 4, line 22 ---	7
X	US 4 432 648 A (MUSTO DOMINICK J ET AL) 21 February 1984	1,3,6,7, 11,13
Y	see column 2, line 37 - column 4, line 44 see figures 1,2 ---	4,8-10, 12
Y	EP 0 416 362 A (BAYER AG) 13 March 1991 see abstract see column 2, line 10 - line 33 see column 3, line 33 - column 4, line 18 see column 4, line 54 - column 5, line 1 --- -/--	4

☒ Further documents are listed in the continuation of box C.

☒ Patent family members are listed in annex.

* Special categories of cited documents:

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier document but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance, the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance, the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

9 June 1999

Date of mailing of the international search report

21/06/1999

Name and mailing address of the ISA

European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,
Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Roost, J

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No

PCT/EP 99/00903

C.(Continuation) DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category	Citation of document with indication where appropriate of the relevant passages	Relevant to claim No
Y	US 4 748 332 A (KUEHNE MANFRED ET AL) 31 May 1988 see abstract see column 2, line 42 - line 59 see column 10, line 24 - line 36 see figures 1.5 ---	8,9
Y	EP 0 439 802 A (FRAUNHOFER GES FORSCHUNG) 7 August 1991	10
A	see figure 2 see page 2, line 29 - line 43 see page 3, line 10 - line 12 ---	6,7
Y	DE 41 14 786 A (ZIMMER GMBH BERUEHRUNGSFREIES) 12 November 1992 see abstract see column 3, line 52 - column 4, line 9 ---	12
A	DE 35 26 656 A (MITUTOYO MFG CO LTD) 6 February 1986 see page 11, paragraph 2 - paragraph 3 see figure 1 ---	2
A	CHANG K S: "CORRECTION ALGORITHMS IN A LASER SCANNING DIMENSION MEASUREMENT SYSTEM" IEE PROCEEDINGS A, PHYSICAL SCIENCE, MEASUREMENT & INSTRUMENTATION, MANAGEMENT & EDUCATION, vol. 139, no. 2 PART A, 1 March 1992. pages 57-60, XP000296856 see page 57, left-hand column, paragraph 1 - page 58, right-hand column, paragraph 1 see figures 1.2 ---	1
A	EP 0 532 291 A (YORK TECHNOLOGY LTD) 17 March 1993 see abstract see column 4, line 1 - line 38 see figure 3 ---	4
A	EP 0 439 803 A (FRAUNHOFER GES FORSCHUNG) 7 August 1991 cited in the application see abstract see page 2, line 49 - line 51 -----	1,6

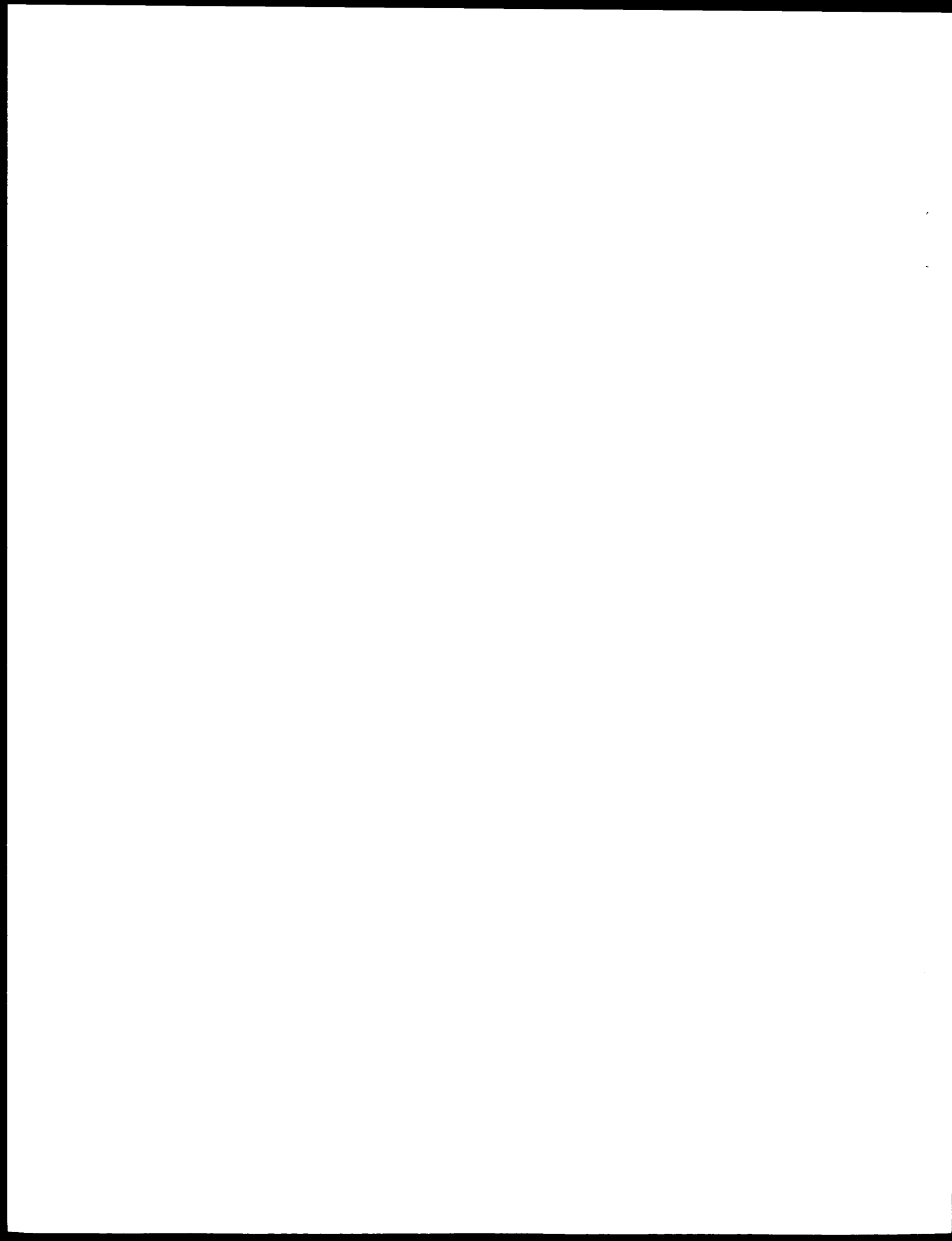
INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International Application No

PCT/EP 99/00903

Patent document cited in search report		Publication date	Patent family member(s)	Publication date
US 4201476	A	06-05-1980	NONE	
US 4432648	A	21-02-1984	NONE	
EP 0416362	A	13-03-1991	DE 3929172 A US 5249029 A	07-03-1991 28-09-1993
US 4748332	A	31-05-1988	DE 3607244 A GB 2187549 A,B	10-09-1987 09-09-1987
EP 0439802	A	07-08-1991	DE 4002743 A AT 108894 T DE 59006516 D ES 2062283 T JP 5071007 A US 5315371 A	08-08-1991 15-08-1994 25-08-1994 16-12-1994 23-03-1993 24-05-1994
DE 4114786	A	12-11-1992	NONE	
DE 3526656	A	06-02-1986	JP 1648003 C JP 2057642 B JP 61034410 A GB 2162941 A,B US 4648718 A	13-03-1992 05-12-1990 18-02-1986 12-02-1986 10-03-1987
EP 0532291	A	17-03-1993	DE 69207686 D DE 69207686 T JP 5240608 A US 5335057 A	29-02-1996 12-09-1996 17-09-1993 02-08-1994
EP 0439803	A	07-08-1991	AT 118872 T DE 59008529 D ES 2072364 T JP 5045130 A US 5237389 A	15-03-1995 30-03-1995 16-07-1995 23-02-1993 17-08-1993



A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES IPK 6 G01B11/10 G01B11/02 G01S7/481		
Nach der internationalen Patentklassifikation (IPK) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPK		
B. RECHERCHIERTE GEBIETE Recherchierte Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole) IPK 6 G01B G01S		
Recherchierte aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen		
Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)		
C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN		
Kategorie	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	US 4 201 476 A (LERNER HAROLD ET AL) 6. Mai 1980	1,3,6, 11,13
Y	siehe Spalte 1, Zeile 36 - Zeile 47	4,8-10, 12
A	siehe Spalte 2, Zeile 58 - Spalte 4, Zeile 22	7

X	US 4 432 648 A (MUSTO DOMINICK J ET AL) 21. Februar 1984	1,3,6,7, 11,13
Y	siehe Spalte 2, Zeile 37 - Spalte 4, Zeile 44	4,8-10, 12
	siehe Abbildungen 1,2	

	-/--	
<input checked="" type="checkbox"/> Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen <input checked="" type="checkbox"/> Siehe Anhang Patentfamilie		
* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen: "A" Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist "E" älteres Dokument, das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist "L" Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt) "O" Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht "P" Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist "T" Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist "X" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfindenscher Tätigkeit beruhend betrachtet werden "Y" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfindenscher Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren anderen Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann nahelegend ist "Z" Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist		
Datum des Abschlusses der internationalen Recherche		Absenddatum des internationalen Recherchenberichts
9. Juni 1999		21/06/1999
Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde Europäisches Patentamt, P. B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl, Fax: (+31-70) 340-3016		Bevollmächtigter Bediensteter Roost, J

C.(Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN		
Kategorie	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch-Nr.
Y	EP 0 416 362 A (BAYER AG) 13. März 1991 siehe Zusammenfassung siehe Spalte 2, Zeile 10 - Zeile 33 siehe Spalte 3, Zeile 33 - Spalte 4, Zeile 18 siehe Spalte 4, Zeile 54 - Spalte 5, Zeile 1 ---	4
Y	US 4 748 332 A (KUEHNE MANFRED ET AL) 31. Mai 1988 siehe Zusammenfassung siehe Spalte 2, Zeile 42 - Zeile 59 siehe Spalte 10, Zeile 24 - Zeile 36 siehe Abbildungen 1,5 ---	8,9
Y	EP 0 439 802 A (FRAUNHOFER GES FORSCHUNG) 7. August 1991	10
A	siehe Abbildung 2 siehe Seite 2, Zeile 29 - Zeile 43 siehe Seite 3, Zeile 10 - Zeile 12 ---	6,7
Y	DE 41 14 786 A (ZIMMER GMBH BERUEHRUNGSFREIES) 12. November 1992 siehe Zusammenfassung siehe Spalte 3, Zeile 52 - Spalte 4, Zeile 9 ---	12
A	DE 35 26 656 A (MITUTOYO MFG CO LTD) 6. Februar 1986 siehe Seite 11, Absatz 2 - Absatz 3 siehe Abbildung 1 ---	2
A	CHANG K S: "CORRECTION ALGORITHMS IN A LASER SCANNING DIMENSION MEASUREMENT SYSTEM" IEE PROCEEDINGS A. PHYSICAL SCIENCE, MEASUREMENT & INSTRUMENTATION, MANAGEMENT & EDUCATION, Bd. 139, Nr. 2 PART A, 1. März 1992, Seiten 57-60, XP000296856 siehe Seite 57, linke Spalte, Absatz 1 - Seite 58, rechte Spalte, Absatz 1 siehe Abbildungen 1,2 ---	1
A	EP 0 532 291 A (YORK TECHNOLOGY LTD) 17. März 1993 siehe Zusammenfassung siehe Spalte 4, Zeile 1 - Zeile 38 siehe Abbildung 3 ---	4
A	EP 0 439 803 A (FRAUNHOFER GES FORSCHUNG) 7. August 1991 in der Anmeldung erwähnt siehe Zusammenfassung siehe Seite 2, Zeile 49 - Zeile 51 -----	1,6

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP 99/00903

Im Recherchenbericht angeführtes Patentedokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglieder der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
US 4201476 A	06-05-1980	KEINE	
US 4432648 A	21-02-1984	KEINE	
EP 0416362 A	13-03-1991	DE 3929172 A US 5249029 A	07-03-1991 28-09-1993
US 4748332 A	31-05-1988	DE 3607244 A GB 2187549 A, B	10-09-1987 09-09-1987
EP 0439802 A	07-08-1991	DE 4002743 A AT 108894 T DE 59006516 D ES 2062283 T JP 5071007 A US 5315371 A	08-08-1991 15-08-1994 25-08-1994 16-12-1994 23-03-1993 24-05-1994
DE 4114786 A	12-11-1992	KEINE	
DE 3526656 A	06-02-1986	JP 1648003 C JP 2057642 B JP 61034410 A GB 2162941 A, B US 4648718 A	13-03-1992 05-12-1990 18-02-1986 12-02-1986 10-03-1987
EP 0532291 A	17-03-1993	DE 69207686 D DE 69207686 T JP 5240608 A US 5335057 A	29-02-1996 12-09-1996 17-09-1993 02-08-1994
EP 0439803 A	07-08-1991	AT 118872 T DE 59008529 D ES 2072364 T JP 5045130 A US 5237389 A	15-03-1995 30-03-1995 16-07-1995 23-02-1993 17-08-1993

Zeichnungen

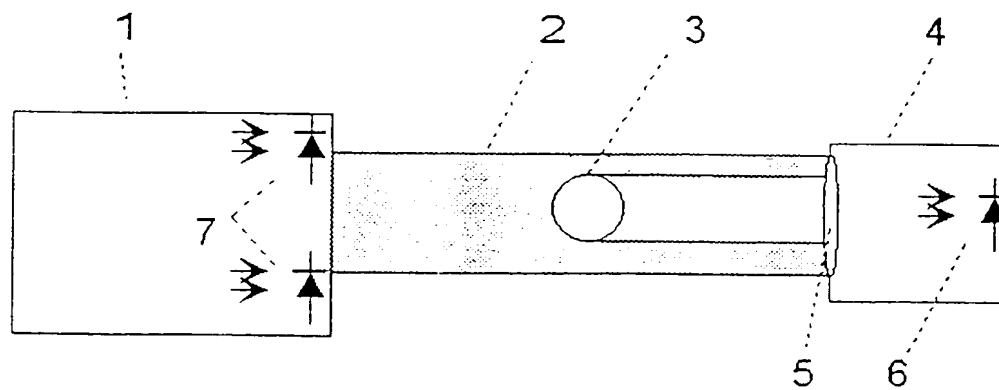


Fig. 1

Stand der Technik

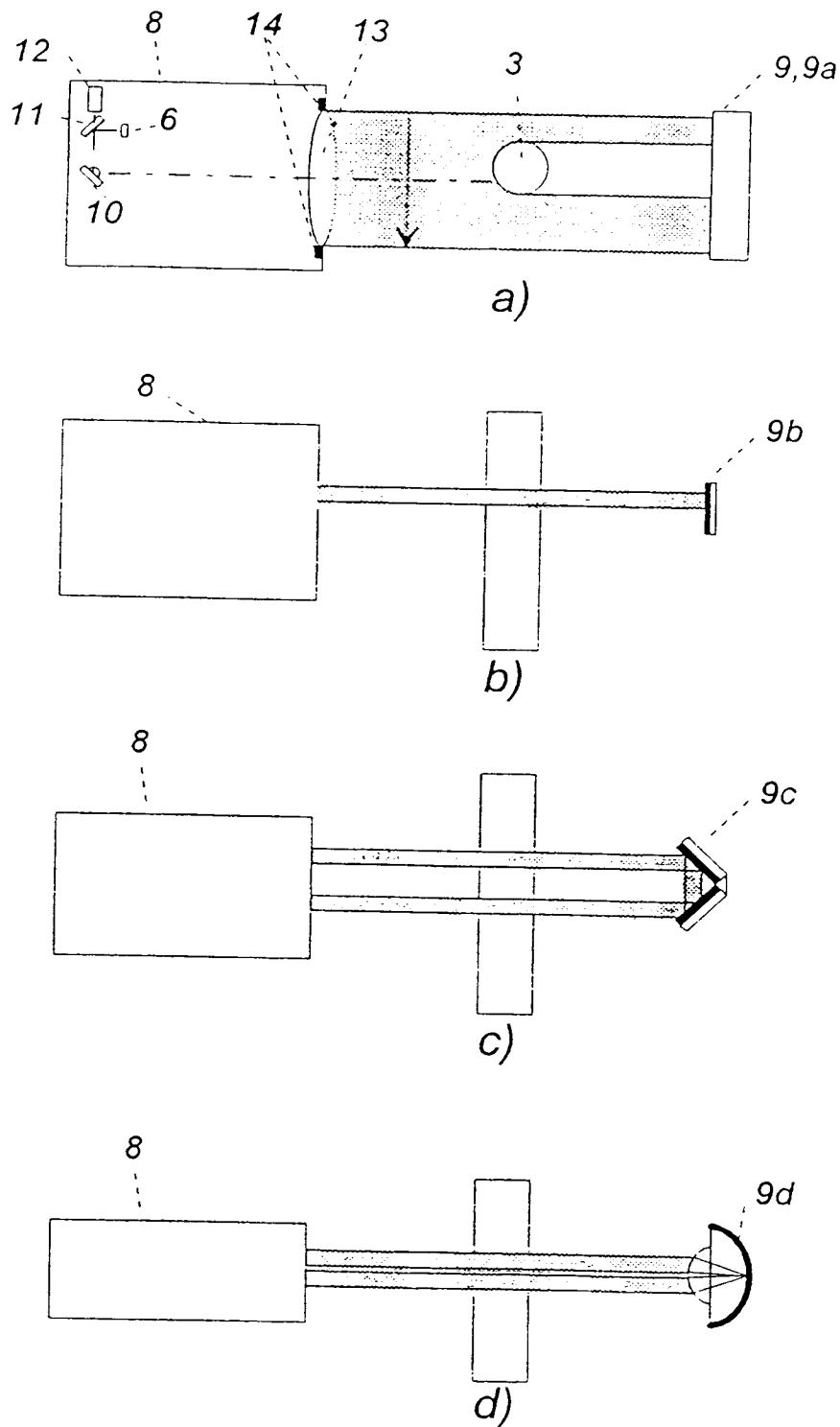


Fig. 2

Erfindung

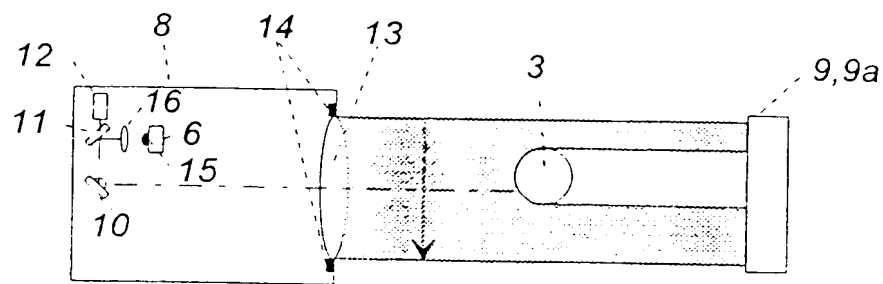


Fig. 3

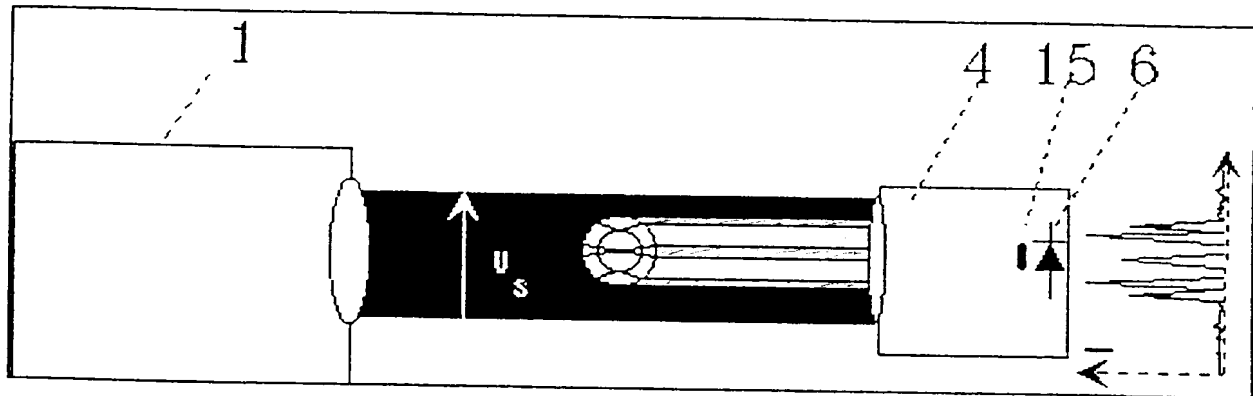


Fig. 4

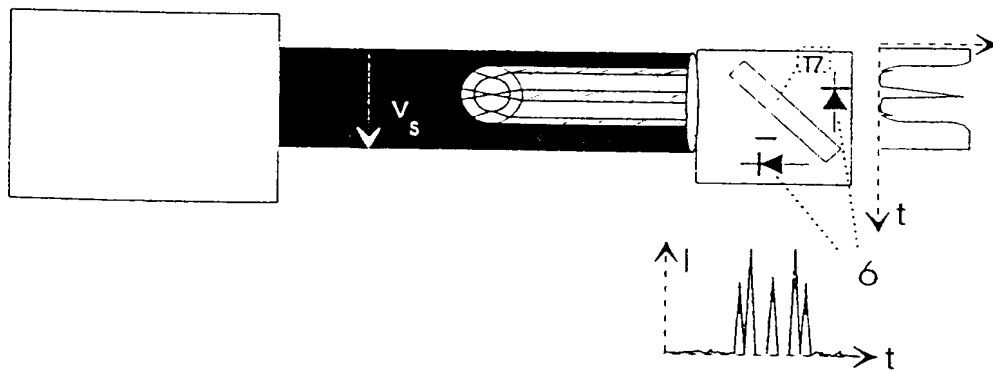


Fig. 5

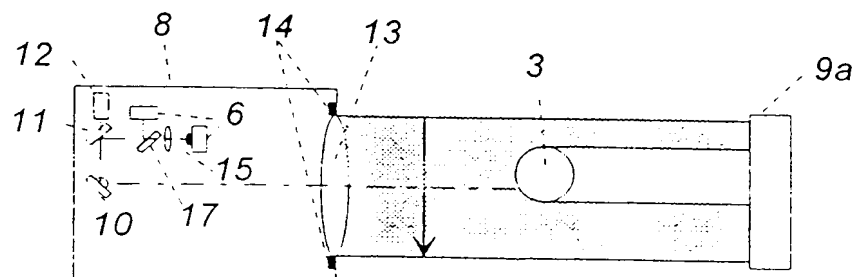


Fig. 6

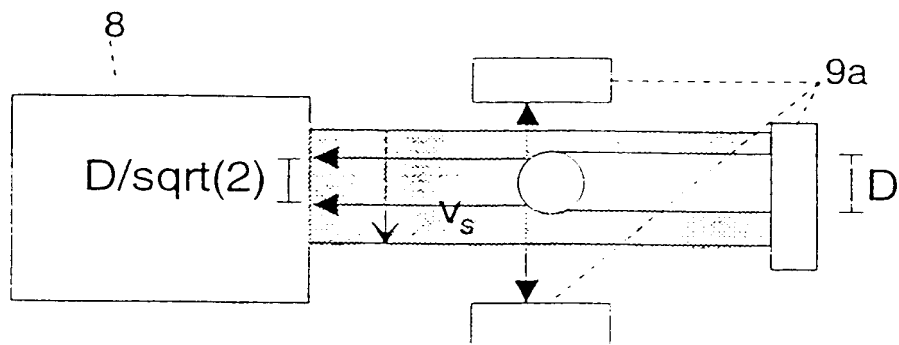


Fig. 7

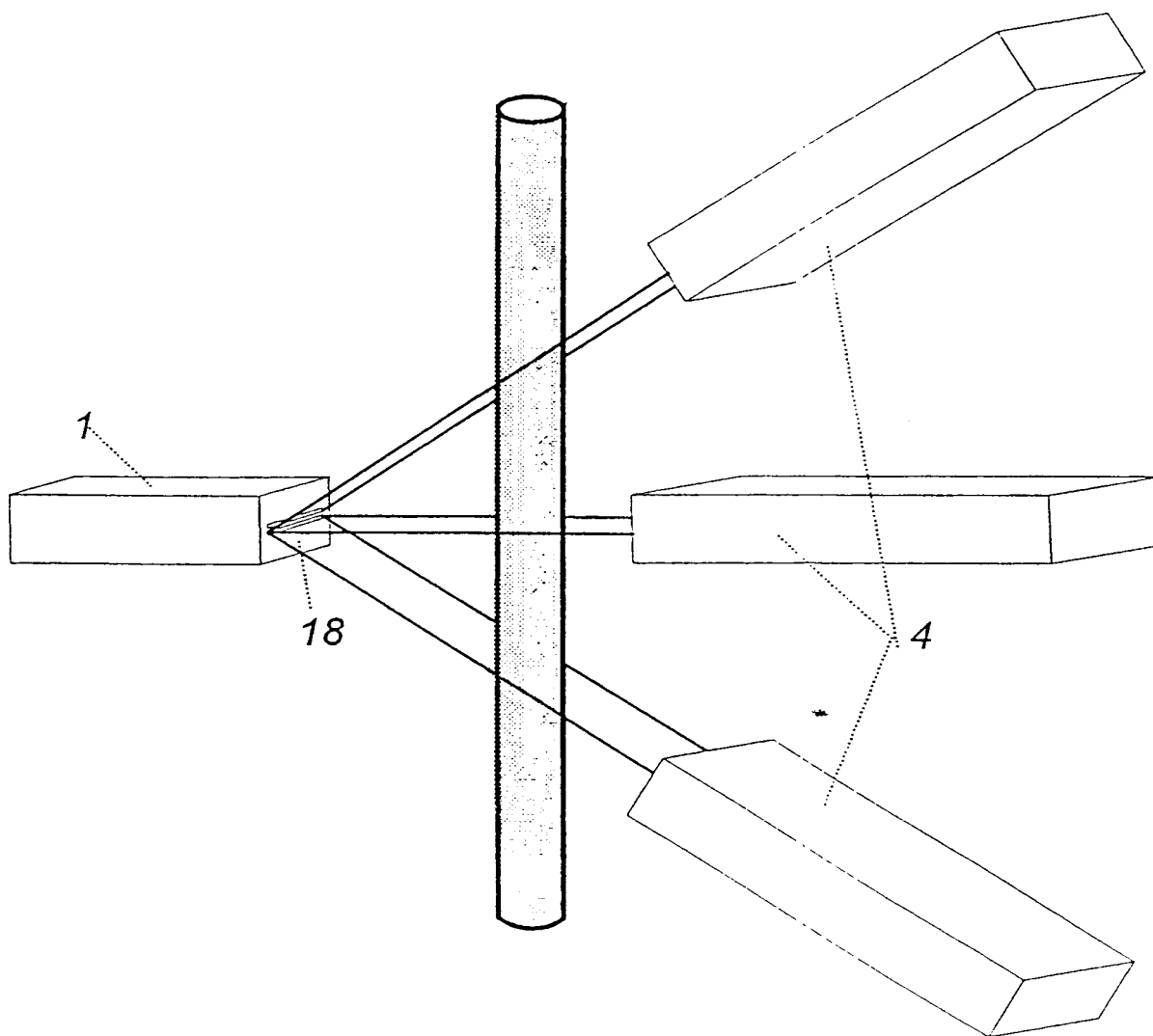


Fig. 8

534 Rec'd PCT/PTO 15 AUG 2000

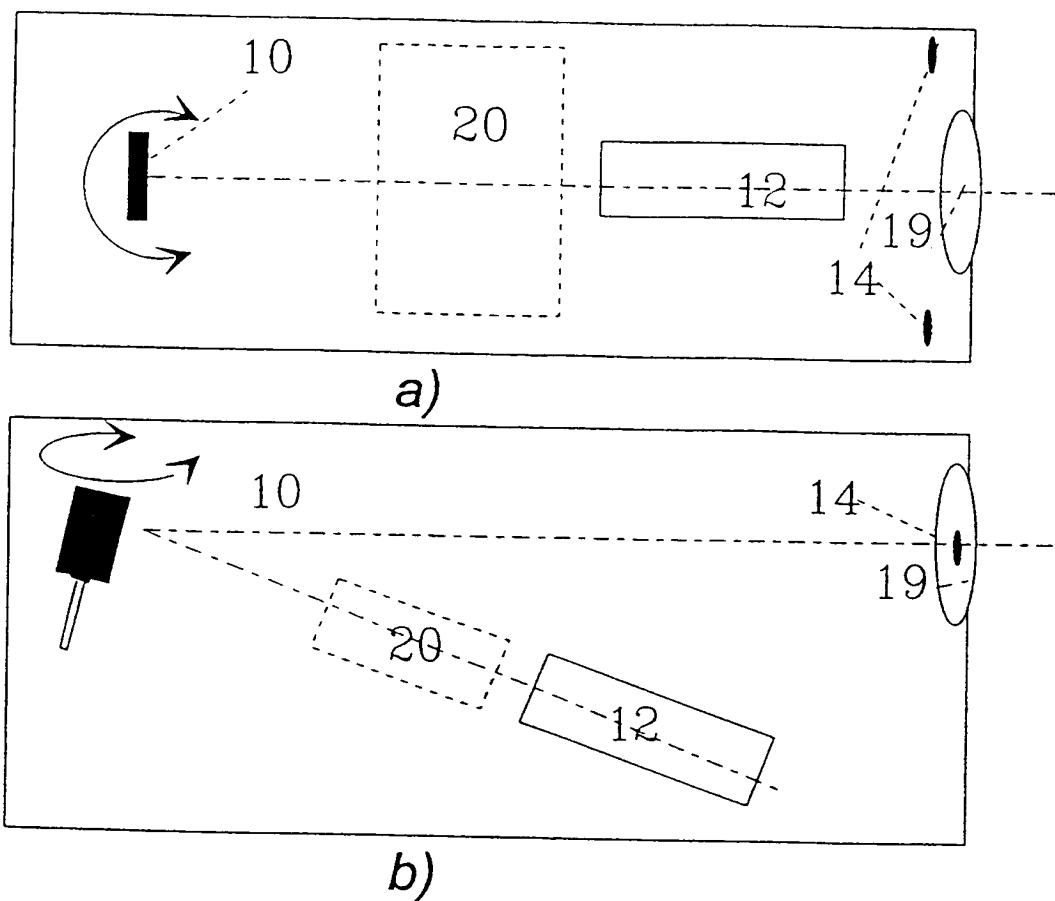
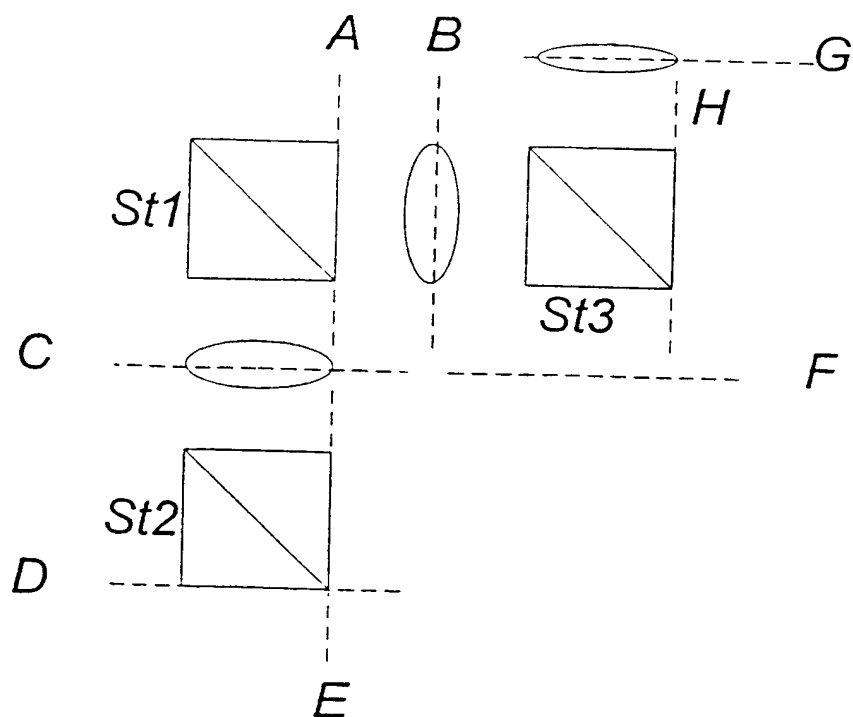
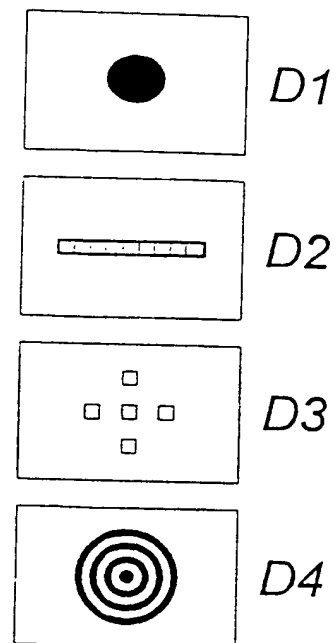


Fig. 9



a)

Fig. 10



b)

534 Rec'd PCT/PTO 15 AUG 2000